

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年3月11日 (11.03.2004)

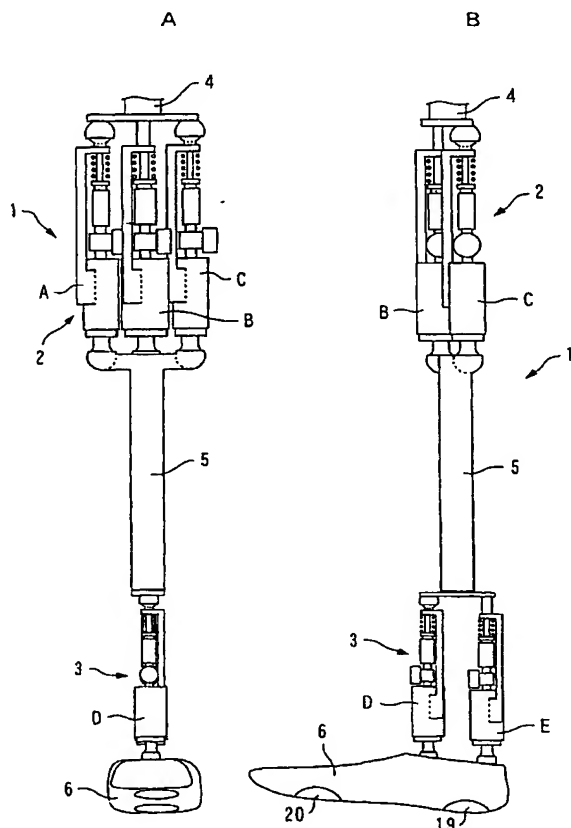
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/019832 A1

- (51) 国際特許分類⁷: A61F 2/74, 2/64, 2/66 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 安井 裕司 (YA-SUI, Yuji) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県 和光市 中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010810
- (22) 国際出願日: 2003年8月26日 (26.08.2003) (74) 代理人: 高橋 友雄 (TAKAHASHI, Tomoo); 〒108-0014 東京都港区芝4丁目11番5号 MSビル5階 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): US, VN.
- (30) 優先権データ: (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB).
特願2002-253280 2002年8月30日 (30.08.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒107-8556 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: JOINT DEVICE FOR ARTIFICIAL LEG, AND METHOD AND CONTROL UNIT FOR CONTROLLING THE JOINT DEVICE

(54) 発明の名称: 義足の関節装置、当該関節装置を制御する方法およびコントロールユニット



(57) Abstract: A joint device for an artificial leg providing significant reduction in weight of a power source and extended duration of the power source, and enabling easy actions of knee bending/extension, toe raising, and kicking. The joint device has an above knee member and a below knee member spaced apart from each other. Three telescoping links are connected between the above knee member and the below knee member. Energy derived from body weight, acting on the artificial leg is accumulated in the links. The links are moved by releasing the accumulated energy and perform joint movement by driving the below knee member.

(57) 要約: 電源の飛躍的な軽量化および持続時間の長期化を達成できるとともに、膝の曲げ伸ばし動作、つま先上げ動作および蹴り出し動作を容易に行うことができる義足の関節装置を提供する。当該関節装置は、互いに間隔を隔てた膝上部材および膝下部材とを有する。3本の伸縮リンクは、膝上部材と膝下部材の間に連結され、義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積するとともに、蓄積したエネルギーを放出することにより動作し、膝下部材を駆動することによって関節動作を行わせる。

明細書

義足の関節装置、当該関節装置を制御する方法およびコントロールユニット

技術分野

本発明は、義足の関節装置、当該関節装置を制御する方法およびコントロールユニットに関する。

背景技術

従来の義足の関節装置として、例えば特開平 1 1 - 3 4 5 号公報に記載されたものが知られている。この関節装置は、義足の足部材と膝下部材との間を連結する足首関節として用いられるものであり、足部材の上端部には、左右方向に貫通する孔が形成されている。また、膝下部材の下端部は、二股に分岐したアーム部を有するブラケットになっており、各アーム部に孔が形成されている。また、足部材の上端部は膝下部材のブラケットに挿入され、両者の孔には軸が通されている。これにより、足部材と膝下部材は、軸を中心として水平軸線回りに互いに回動自在に連結され、義足の着地時などに作用する反力に応じて、相対的に前後方向に回動することが可能である。

また、義足の関節装置として、膝上部材と膝下部材の間を連結する膝関節として用いられるものも、従来から種々提案されている。その中には、膝上部材と膝下部材が水平軸線回りに互いに回動自在に連結され、膝関節が伸びた状態で両部材間がロックされるように構成されるとともに、その状態で義足の使用者が膝の曲げのきっかけ動作を行うことにより、ロックが外れ、膝下部材を遠心力で前方に振り出すという機能を有するものがある。

しかし、上述した従来の足首用の関節装置は、足部材および膝下部材を能動的に動かすようには構成されておらず、着地などの際の反力に応じて、足部材と膝下部材が受動的に相対回動するにすぎないため、健常者と異なり、足を前に出すときの「つま先上げ動作」（図 2 7 C 参照）や、地面を蹴るときの「蹴り出し動作」（図 2 7 B 参照）を自由に行えないという問題がある。つま先上げ動作を行

えないと、路面の凹凸などにつま先を取られやすく、最悪の場合、転倒に至ってしまう。また、蹴り出し動作については、それが行えなくても、転倒などのおそれはないものの、未舗装路の歩行時に土ぼこりが立たないため、義足であることが他の者に分かってしまう。このことは、健常者には理解しにくいものであるが、義足の使用者にとっては大きな悩みの1つである。また、他の関節装置として、電動モータによって能動的に動作可能なものも知られているが、その場合には、電源の持続時間が短く、重量が大きくなるなどの別の問題を有する。

さらに、前述した従来の膝用の関節装置は、膝下部材を遠心力で前方に振り出す機能を有するものの、そのきっかけ動作が面倒であるため、「膝の曲げ伸ばし動作」（図27B～D参照）を容易には行えず、図28に示すように、実際には、その機能を用いずに義足を伸ばしたまま外回しで前に出す「外回し動作」を行うことが多い。このような外回し動作は、それにより義足であることが他の者に一見して分かってしまうため、義足の使用者の最大の悩みになっている。このように、義足の外回し動作を解消し、膝の曲げ伸ばし動作を容易に行えるようにすることは、義足の使用者にとって切実な要望である。

発明の開示

本発明の目的は、電源の飛躍的な軽量化および持続時間の長期化を達成できるとともに、膝の曲げ伸ばし動作、つま先上げ動作および蹴り出し動作を容易に行うことができる義足の関節装置、当該関節装置を制御する方法およびコントロールユニットを提供することである。

上記の目的を達成するために、本発明の第1の態様によれば、

上部材；

前記上部材から間隔を隔てた下部材；および

前記上部材と前記下部材の間に連結され、義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積するとともに、当該蓄積したエネルギーを放出することにより動作し、前記下部材を駆動することによって関節動作を行わせるアクチュエータ

を備える義足の関節装置が提供される。

この義足の関節装置によれば、アクチュエータは、義足に作用する体重による

エネルギーを蓄積するとともに、蓄積したエネルギーを放出することにより動作する。そして、動作したアクチュエータで下部材を駆動することによって、関節動作が行われる。このように、義足に作用する体重を動力源として関節動作を行うので、関節を直接的に動作させるための電源が不要になり、その結果、義足を駆動するための電源の飛躍的な軽量化および持続時間の長期化を達成することができる。

好ましくは、前記関節装置は、前記蓄積されたエネルギーの放出を制御することにより、前記アクチュエータの動作を制御する制御手段をさらに備え、当該制御手段は、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御する。

この好ましい態様によれば、アクチュエータの動作速度および／または動作タイミングを制御手段で制御するので、義足を適切な速度とタイミングで自在に動作させることができる。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記制御手段は、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御する。

この好ましい態様によれば、体重の作用方向と異なる方向に配置された複数のアクチュエータの動作速度および／または動作タイミングを互いに異ならせることによって、体重の作用方向と異なる方向の関節動作を生じさせることができる。これにより、関節を動作させたい方向が体重の作用方向と異なる場合にも、関節を所望の方向に動作させることができる。

例えば、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

この好ましい態様によれば、関節装置が膝関節装置として構成されるとともに、体重の作用方向と異なる方向に膝関節を動作させる。したがって、歩行中に義足に作用する体重を、膝関節の曲げ動作と伸ばし動作に変換することができ、それにより、従来の義足の課題であった外回し動作を解消し、膝の曲げ伸ばし動作を容易に行うことができる。

例えば、前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材である。

この好ましい態様によれば、関節装置が足首関節装置として構成されるとともに、体重の作用方向と異なる方向に足首関節を動作させる。したがって、歩行中に義足に作用する体重を、足首関節の蹴り出し動作とつま先上げ動作に変換することができ、それにより、歩行中の転倒のおそれや土ぼこりが立たないなどの従来の義足の課題を解消することができる。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、前記制御手段は、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御する。

この好ましい態様によれば、複数のアクチュエータの動作速度および／または動作タイミングを互いに異ならせることにより、関節動作として、ひねり動作を伴う回転動作を生じさせることができる。これにより、人体の関節に特有の、若干のひねりを伴う回転動作を再現することができる。

この好ましい態様において、例えば、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

この好ましい態様によれば、関節装置が膝関節装置として構成されるとともに、膝関節にひねり動作を伴う回転動作を生じさせるので、残された脚がX脚やO脚の場合にも、義足の動作をそれに近似させることができる。それによって、左右のバランスの良しより自然な歩行を実現できるとともに、残された脚の負担も軽減できる。

より好ましくは、前記関節装置は、前記義足の歩行速度を検出する歩行速度検出手段をさらに備え、前記制御手段は、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御する。

この好ましい態様によれば、アクチュエータの動作速度および／または動作タイミングを、検出された歩行速度に応じて制御するので、実際の歩行速度に応じた適切な速度および／またはタイミングで義足を動作させることができる。その

結果、円滑な歩行を実現できるとともに、歩行速度の向上を図ることができる。

さらに好ましくは、前記歩行速度検出手段は、義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出する。

この好ましい態様によれば、義足の足の裏側に配置した複数のセンサで歩行速度を検出するので、そのための筋電位検出装置のような大掛かりな検出装置は不要になるため、義足の軽量化を図ることができる。

より好ましくは、前記制御手段は、前記アクチュエータの動作を、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて制御する。

この好ましい態様によれば、アクチュエータの動作を応答指定型制御アルゴリズムに基づいて制御するので、アクチュエータの動作が振動的なオーバーシュート特性になるのを防止でき、それにより、義足の不自然な振動的動作を防止することができる。また、アクチュエータの動特性に経年変化やばらつきが生じて、義足の動作を安定化させることができる。

あるいは、前記制御手段は、前記アクチュエータの動作を、2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて制御するのが好ましい。

この好ましい態様によれば、アクチュエータの動作を2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて制御するので、アクチュエータの動作が振動的なオーバーシュート特性になるのを防止でき、それにより、義足の不自然な振動的動作を防止することができる。また、アクチュエータの応答速度を速めることができるため、義足の不自然な振動的動作を防止しつつ、その動作を速めることができる。

より好ましくは、当該関節装置は、前記制御手段により前記アクチュエータの動作を制御するための電源と、前記義足が歩行状態にあるか否かを検出する歩行状態検出手段と、をさらに備え、前記制御手段は、前記歩行状態検出手段により前記義足が歩行状態にないと検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させる。

この好ましい態様によれば、義足が歩行状態にないときに、アクチュエータを制御するための電源の消費電力が低下する方向にアクチュエータを動作させるので、省電力化と電源の軽量化を図ることができる。

上記目的を達成するために本発明の第２の態様によれば、互いに間隔を隔てた上部材と下部材、および前記上部材と前記下部材の間に連結されたアクチュエータからなる義足の関節装置を制御する方法であって、：

前記アクチュエータに義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積させる蓄積ステップ；そして

当該蓄積されたエネルギーを放出させることにより前記アクチュエータに前記下部材を駆動させて、当該下部材に関節動作を行わせる放出ステップ

を備える方法が提供される。

この義足の関節装置を制御する方法によれば、上記第１の態様と同様の効果が得られる。

好ましくは、前記放出ステップは、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御することを含む。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記放出ステップは、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御することを含む。

例えば、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

例えば、前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材である。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、前記放出ステップは、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御することを含む。

この好ましい態様において、例えば、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

より好ましくは、前記方法は、前記義足の歩行速度を検出する歩行速度検出ステップをさらに備え、前記放出ステップは、前記アクチュエータの動作速度およ

び動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御することを含む。

さらに好ましくは、前記関節装置は、義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、前記歩行速度検出ステップは、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出することを含む。

より好ましくは、前記蓄積ステップ及び前記放出ステップは、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて実行される。

あるいは、前記蓄積ステップ及び前記放出ステップは、2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて実行されることが好ましい。

より好ましくは、前記関節装置は、前記アクチュエータの動作を制御するための電源を備え、前記方法は、前記義足が歩行状態にあるか否かを検出する歩行状態検出ステップと、前記歩行状態検出ステップにおいて前記義足が歩行状態になると検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させる電力セーブステップとをさらに備える。

本発明の第2の態様これらの好ましい態様によれば、それぞれ本発明の上記第1の態様の対応する好ましい態様と同様の効果が得られる。

上記目的を達成するために、本発明の第3の態様によれば、互いに間隔を隔てた上部材と下部材、および前記上部材と前記下部材の間に連結されたアクチュエータからなる義足の関節装置の制御をコンピュータによって行うための制御プログラムを含むコントロールユニットであって、

当該制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積し、そして当該蓄積されたエネルギーを放出することにより前記アクチュエータに前記下部材を駆動させて、当該下部材に関節動作を行わせるようにさせる

コントロールユニットが提供される。

このコントロールユニットによれば、上記第1の態様と同様の効果が得られる。

好ましくは、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記アクチュエ

ータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御させる。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御させる。

例えば、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

例えば、前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材である。

より好ましくは、前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御させる。

この好ましい態様において、前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材である。

より好ましくは、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足の歩行速度を検出させ、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御する。

さらに好ましくは、前記関節装置は、義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足の歩行速度を検出させるときに、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出させる。

より好ましくは、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータによる前記エネルギーの蓄積及び放出を、応答指定型制御アルゴリズムに

基づいて制御させる。

あるいは、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータによる前記エネルギーの蓄積及び放出を、2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて制御させる。

さらに好ましくは、前記関節装置は、前記アクチュエータの動作を制御するための電源をさらに備え、前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足が歩行状態にあるか否かを検出させ、前記義足が歩行状態にないと検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させるようにさせる。

本発明の第3の態様これらの好ましい態様によれば、それぞれ本発明の上記第1の態様の対応する好ましい態様と同様の効果が得られる。

本発明の上述の及びその他の目的、特徴、ならびに利点は、添付の図面に基づく下記の詳細な説明により、一層明らかとなるであろう。

図面の簡単な説明

図1Aは、本発明の第1実施形態による義足の全体構成を示す正面図である。

図1Bは、本発明の第1実施形態による義足の全体構成を示す側面図である。

図2Aは、義足の膝関節装置を拡大して示す正面図である。

図2Bは、義足の膝関節装置を拡大して示す側面図である。

図3は、切換弁の構成および取付状況を示す斜視図である。

図4Aは、図3の切換弁の弁体の平面図である。

図4Bは、図3の切換弁の弁体の正面図である。

図4Cは、図3の切換弁の弁体の側面図である。

図5A～5Cは、図3の切換弁の開閉動作を示す図である。

図6A～6Eは、膝関節装置の基本動作を説明するための図である。

図7は、歩行時における膝関節装置の制御例を示すタイミングチャートである。

図8は、図7とは別の制御例を示すタイミングチャートである。

図9Aは、通常脚に対応した義足の動作を模式的に示す図である。

図9Bは、X脚に対応した義足の動作を模式的に示す図である。

図 9 C は、○脚に対応した義足の動作を模式的に示す図である。

図 1 0 A は、義足の足首関節装置を拡大して示す正面図である。

図 1 0 B は、義足の足首関節装置を拡大して示す側面図である。

図 1 1 A ～ 1 1 E は、足首関節装置の基本動作を説明するための図である。

図 1 2 は、歩行時における足首関節装置の制御例を示すタイミングチャートである。

図 1 3 は、義足の制御装置を示すブロック図である。

図 1 4 は、義足の制御に適用される応答指定型制御アルゴリズムを示す図である。

図 1 5 は、義足の制御に適用される 2 自由度 P I D 制御アルゴリズムを示す図である。

図 1 6 は、義足の制御処理のメイン処理を示すフローチャートである。

図 1 7 は、図 1 6 の制御処理のうちのシーケンス制御時間決定処理のサブルーチンである。

図 1 8 は、切換弁目標開度決定処理のサブルーチンである。

図 1 9 は、切換弁 1 3 A の制御処理のサブルーチンである。

図 2 0 は、図 1 9 の制御処理による動作例を示すタイミングチャートである。

図 2 1 は、切換弁 1 3 B の制御処理のサブルーチンである。

図 2 2 は、切換弁 1 3 C の制御処理のサブルーチンである。

図 2 3 は、切換弁 1 3 D の制御処理のサブルーチンである。

図 2 4 は、切換弁 1 3 E の制御処理のサブルーチンである。

図 2 5 A は、義足へのバッテリーなどの配置例を示す正面図である。

図 2 5 B は、義足へのバッテリーなどの配置例を示す側面図である。

図 2 6 A は、本発明の第 2 実施形態による義足の膝関節装置を拡大して示す正面図である。

図 2 6 B は、本発明の第 2 実施形態による義足の膝関節装置を拡大して示す側面図である。

図 2 7 は、人間の歩行時の関節動作を模式的に示す図である。

図 2 8 は、従来の義足の動作を模式的に示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を詳細に説明する。

図1A、1Bは、本発明の第1実施形態による義足の全体構成を示している。この義足1は、膝関節装置2と足首関節装置3を組み合わせたものである。膝関節装置2は、股関節（図示せず）に取り付けられる、上部材としての膝上部材4と、膝上部材4の下側に連結された、アクチュエータとしての3本の伸縮リンクA、B、Cと、それらの下側に連結された、下部材としての膝下部材5で構成されている。また、足首関節装置3は、上記膝下部材5と、膝下部材5の下側に連結された2本の伸縮リンクD、Eと、それらの下側に連結された足部材6で構成されている。

図2A、2Bに示すように、膝関節装置2の伸縮リンク（以下、単に「リンク」という）A～Cは、上下方向に互いに平行に延びており、リンクA、Cは、義足1の使用者から見て右側および左側にそれぞれ配置され、リンクBは、両リンクA、C間の中央かつ前側に配置されている。また、リンクA、Cは、膝上部材4および膝下部材5に、ボールジョイント7、8をそれぞれ介して、任意の方向に回転自在に連結されている。これに対し、リンクBは、膝上部材4に剛結され、膝下部材5に、ボールジョイント8を介して、任意の方向に回転自在に連結されている。

これらのリンクA～Cは、互いに同じ構成を有しており、上下方向に延びるリンク本体9を備えている。リンク本体9は、膝上部材4に上述のように取り付けられた連結部9aと、連結部9aから下方に延びるロッド状のばね取付部9bと、ばね取付部9bの下側に順に配置された上シリンダ9c、連結管9dおよび下シリンダ部9eと、連結部9aおよび下シリンダ9eの間を剛結する剛結部9fとから、一体に形成されている。

上シリンダ9c、連結管9dおよび下シリンダ9eは互いに連通し、これらにより油路9gが構成されており、この油路9g内に作動油が充填されている。上シリンダ9cには、上方に突出する圧力蓄積ピストン10が、上下方向に摺動自在に設けられている。この圧力蓄積ピストン10と連結部9aとの間には、圧力

蓄積ばね 11 が、ばね取付部 9b に巻回されるように設けられており、圧力蓄積ピストン 10 を常時、下方に付勢している。一方、下シリンダ 9e は、上シリンダ 9c よりも大きな所定の断面積を有し、その内部には、下方に突出する体重印加ピストン 12 が、上下方向に摺動自在に設けられていて、この体重印加ピストン 12 が、膝下部材 5 にボールジョイント 8 を介して連結されている。以上の構成により、圧力蓄積ピストン 10 および体重印加ピストン 12 は、それらの間に充填された作動油によって、リンク本体 9 に対し、互いに連動して上下動する。

また、図 3 に示すように、リンク A～C の連結管 9d にはそれぞれ、連結管 9d (油路 9g) を開閉する切換弁 13A～13C (以下、総称するときには「切換弁 13」という) が設けられている。各切換弁 13 は、電動ロータリー式のものであり、連結管 9d を開閉する弁体 14 と、弁体 14 を回転駆動するモータ 15 と、弁体 14 を復帰回転させるリターンばね 16 で構成されている。図 4A～4C に示すように、弁体 14 は、中央にくびれ部 14a を有する円柱状のものであり、くびれ部 14a には連通孔 14b が形成されている。弁体 14 は、連結管 9d に設けた弁取付部 9h に回動自在に嵌合し、両側に突出するように設けられており、その一端部にモータ 15 が接続され、他端部にリターンばね 16 が接続されている。また、モータ 15 には、その電源であるバッテリー 17 と、電力回生用のキャパシタ 18 が接続されており、リターンばね 16 に蓄積されたエネルギーは、切換弁 13 の復帰時にモータ 15 により電力として回生され、キャパシタ 18 に充電される。さらに、切換弁 13 には、その開度 θ_{act} を検出する切換弁開度センサ 26 が取り付けられている。

以上の構成により、モータ 15 の回転角度を制御することによって、図 5A～5C に示すように、切換弁 13 の開度を、

- (a) 弁体 14 が連結管 9d を塞ぎ、油路 9g を完全に閉鎖する全閉位置
- (b) 弁体 14 の連通孔 14b が連結管 9d と完全に合致し、油路 9g を完全に開放する全開位置
- (c) 弁体 14 の連通孔 14b が連結管 9d と部分的に連通し、油路 9g を部分的に開放する中間開放位置

に制御できるとともに、中間開放状態ではその開度を任意に制御することが可能

である。切換弁 13 の開閉制御は、後述するコントローラ 25 により、モータ 15 への印加電流をデューティ制御することによって行われる。なお、後述するように、義足 1 の非動作状態では、切換弁 13 が全閉位置に制御されるとともに、切換弁 13 は、モータ 15 への印加電流がゼロのときに全閉位置に制御されるように設定されており、それにより、バッテリー 17 の電力消費を最小限に抑制することができる。

次に、上記構成の膝関節装置 2 の基本動作を、図 6 A～6 E を参照して説明する。

(a) 通常時

切換弁 13 A～13 C 全閉

- 各油路 9 g の全閉により、各体重印加ピストン 12 および圧力蓄積ピストン 10 の移動が阻止され、膝上部材 4 および膝下部材 5 が互いにまっすぐな状態に保持される。

(b) 体重印加時

切換弁 13 A～13 C 全開

- 各油路 9 g の全開と膝下部材 5 からの体重反力とによって、各体重印加ピストン 12 がリンク本体 9 に対して上昇し、それに伴い、各圧力蓄積ピストン 10 が圧力蓄積ばね 11 を圧縮させながら上昇することで、圧力が次第に蓄積される。

(c) 圧力保持時

切換弁 13 A～13 C 全閉

- 圧力蓄積ピストン 10 の上昇終了後、各油路 9 g が全閉されることによって、蓄積した圧力が保持される。

(d) 膝下部材後方回転時（膝曲げ動作）

切換弁 13 A、13 C 全閉、切換弁 13 B：中間開放→全開

- リンク B の油路 9 g の開放により、蓄積・保持した圧力が解放され、圧力蓄積ピストン 10 および体重印加ピストン 12 が下降することで、前側のリンク B が伸長し、後ろ側のリンク A、C との長さの差によって、膝下部材 5 が後方に回転し、膝関節装置 2 が後方に曲がった状態になる。これにより、

義足 1 を前に出すときの膝曲げ動作が実現される。

(e) 膝下部材前方回転時（膝伸ばし動作）

切換弁 1 3 A、1 3 C：中間開放→全開、切換弁 1 3 B 全閉

→ リンク A、C の油路 9 g の開放により、上記と同様にしてリンク A、C が伸長し、リンク B との長さの差がなくなることによって、膝下部材 5 が前方に回転し、膝関節装置 2 がまっすぐに伸びた状態になる。これにより、義足 1 の膝曲げ動作に続く膝伸ばし動作が実現される。

以上のように、本実施形態の膝関節装置 2 によれば、歩行時に義足 1 に作用する体重を利用して、義足 1 を前に出すときの膝曲げ動作、およびそれに続く膝伸ばし動作を、容易に実現することができる。

また、図 1 B に示すように、足部材 6 の裏には、かかとおよびつま先の付近に、かかと接地センサ 1 9 およびつま先接地センサ 2 0（歩行速度検出手段、歩行状態検出手段）が、それぞれ設けられている。これらの接地センサ 1 9、2 0 は、圧力センサや接触スイッチなどで構成されており、それぞれの部位における接地状態／非接地状態を検出し、それに応じた ON/OFF 信号をコントローラ 2 5 に出力する。膝関節装置 2 の歩行時の動作は、両接地センサ 1 9、2 0 の検出結果に応じて制御される。

図 7 は、その制御の一例を示している。この例では、かかと接地センサ 1 9 の ON（かかとの接地）状態では、切換弁 1 3 A～1 3 C を全開に制御することで、体重反力による圧力を各リンクに蓄積し、その後、つま先接地センサ 2 0 の ON（つま先の接地）後に第 1 所定時間 d 1 が経過したときに、切換弁 1 3 A～1 3 C を全閉に制御することで、蓄積した圧力を保持する。次いで、つま先接地センサ 2 0 の OFF 後、第 2 所定時間 d 2 が経過したときに、切換弁 1 3 B の開弁を開始することで、膝曲げ動作を行わせる（同図（d））。さらに、切換弁 1 3 B が全開状態になった後、第 3 所定時間 d 3 が経過したときに、切換弁 1 3 A、1 3 C の開弁を開始することで、膝伸ばし動作を行わせる（同図（e））。以上のような制御により、膝の曲げ伸ばし動作を、実際の歩行状態に応じた適切なタイミングで円滑に行うことができる。

また、図 8 は、膝関節装置 2 の別の制御例を示している。上述した図 7 の制御

例では、膝伸ばし動作時における切換弁13A、13Cの開弁タイミングを互いに同期させているのに対し、この制御例は、切換弁13A、13Cの開弁タイミングを異ならせたものである。具体的には、切換弁13Bが全開状態になった後、切換弁13C用の第3所定時間d3Cが経過したときに、切換弁13Cの開弁を開始し、切換弁13A用の第3所定時間d3Aが経過したときに、切換弁13Aの開弁を遅れて開始する。

このように、リンクCの伸びるタイミングをリンクAよりも早めることにより、膝伸ばし動作時に、膝下部材5をリンクA側へひねる（曲げる）ことができ、それにより、X脚歩行またはO脚歩行を実現できる。例えば、本実施形態では、前述したように、リンクA、Cが義足1の使用者側から見てそれぞれ右側および左側リンクに相当するので、図9A～9Cに示すように義足1が右足用の場合には、図9Bに示すように、膝下部材5がリンクA側すなわち外側にひねられることによって、X脚歩行を実現できる。また、切換弁13A、13Cの開弁タイミングを上記と逆の関係に設定することによって、図9Cに示すように、O脚歩行を実現できる。

したがって、残された脚がX脚およびO脚のいずれの場合でも、義足1の膝関節の動きを残された脚に近似させることができ、それにより、左右のバランスの良いより自然な歩行を実現できるとともに、残された脚の負担も軽減できる。なお、残された脚が、X脚およびO脚のいずれでもない通常脚の場合（図9A）には、切換弁13A、13Cの開弁タイミングが同期制御されることはもちろんである。また、図8の制御例は、切換弁13A、13Cの開弁タイミングを異ならせたものであるが、これに代えて、またはこれとともに、切換弁13A、13Cの開弁速度を変えてもよく、それによって、よりきめ細かい制御が可能になる。

次に、図10A～図12を参照しながら、足首関節装置3の構成および動作について説明する。前述したように、この足首関節装置3は、上部材としての前記膝下部材5と、膝下部材5の下側に連結された、アクチュエータとしての2本の伸縮リンクD、Eと、それらの下側に連結された、下部材としての足部材6で構成されている。

図10A、10Bに示すように、伸縮リンク（以下、単に「リンク」という）

D、Eは、前後に配置され、上下方向に互いに平行に延びており、前述した膝関節装置2のリンクA～Cと同じ構成を有している。前側のリンクDは、膝下部材5および足部材6に、ボールジョイント21、22を介して、それぞれ回転自在に連結されている。一方、後ろ側のリンクEは、膝下部材5に剛結され、足部材6にはボールジョイント22を介して回転自在に連結されている。足部材6は、靴の形状をかたどったものである。なお、図10Bに示すように、下側のボールジョイント22とのリンクD、Eの連結位置には、初期状態で足部材6が若干つま先上がりになるよう、段差が設けられている。これは、足首関節装置3の故障時における歩行のしやすさを考慮したものである。

上記構成の足首関節装置3の基本動作は、前述した膝関節装置2と基本的に同じであり、以下、図11A～11Eを参照して説明する。

(a) 通常時

切換弁13D、13E全閉

→ 各油路9gの全閉により、膝下部材5および足部材6が初期状態に保持される。

(b) 体重印加時

切換弁13D、13E全開

→ 各油路9gの全開と足部材6からの体重反力とによって、各体重印加ピストン12および圧力蓄積ピストン10が上昇し、圧力蓄積ばね11が圧縮されることで、圧力が蓄積されると同時に、足部材6は、つま先側が下方に回転することで、ほぼ水平になる。

(c) 圧力保持時

切換弁13D、13E全閉

→ 各油路9gの全閉により、蓄積した圧力が保持される。

(d) 足部材下方回転時（蹴り出し動作）

切換弁13D：中間開放→全開、切換弁13E全閉

→ リンクDの油路9gの開放により、蓄積された圧力が解放され、圧力蓄積ピストン10および体重印加ピストン12が下降することで、前側のリンクDが伸長し、後ろ側のリンクEとの長さの差によって、足部材6のつま先側

が下方に回転する。これにより、義足 1 の蹴り出し動作が実現される。

(e) 足部材上方回転時（つま先上げ動作）

切換弁 1 3 D 全閉、切換弁 1 3 E：中間開放→全開

→ リンク E の油路 9 g の開放により、上記と同様にしてリンク E が伸長し、リンク D との長さの差がなくなることによって、足部材 6 のつま先側が上方に回転する。これにより、義足 1 の蹴り出し動作に続くつま先上げ動作が実現される。

以上のように、本実施形態の足首関節装置 3 によれば、歩行時に義足 1 に作用する体重を利用して、義足 1 の蹴り出し動作、およびそれに続くつま先上げ動作を、容易に実現することができる。

また、足首関節装置 3 の歩行時の動作は、膝関節装置 2 の場合と同様、かかと接地センサ 1 9 およびつま先接地センサ 2 0 の検出結果に応じて制御される。図 1 2 はその一例を示している。この例では、かかと接地センサ 1 9 の ON 状態では、切換弁 1 3 D、E を全開に制御することで、圧力を各リンクに蓄積し、その後、つま先接地センサ 2 0 の ON 後に第 4 所定時間 d_4 が経過したときに、切換弁 1 3 D、E を全閉に制御することで、蓄積した圧力を保持する。次いで、つま先接地センサ 2 0 の OFF 後、第 5 所定時間 d_5 が経過したときに、切換弁 1 3 D の開弁を開始することで、蹴り出し動作を行う（同図（d））。さらに、切換弁 1 3 D の全開になった後、第 6 所定時間 d_6 が経過したときに、切換弁 1 3 E の開弁を開始することで、つま先上げ動作を行う（同図（e））。以上のような制御により、蹴り出し動作と、それに続くつま先上げ動作を、実際の歩行状態に応じた適切なタイミングで円滑に行うことができる。

次に、上記のように構成された義足 1 の制御について詳細に説明する。図 1 3 は、その制御装置を示している。コントローラ 2 5（制御手段、歩行速度検出手段、歩行状態検出手段）は、マイクロコンピュータで構成されており、切換弁開度算出部 2 7 と、各切換弁 1 3 に対応する切換弁制御部 2 8（2 8 A～2 8 E）を備えている。切換弁開度算出部 2 7 は、かかと接地センサ 1 9 およびつま先接地センサ 2 0 からの検出信号に応じて、切換弁 1 3 A～1 3 E の目標開度 θT （ $\theta A T \sim \theta E T$ ）を算出する。

また、各切換弁制御部 28 は、算出された目標開度 θ_T と、切換弁開度センサ 26 で検出された各切換弁 13 の開度（以下「切換弁実開度」という） θ_{act} ($\theta_{Aact} \sim \theta_{Eact}$) から、各切換弁 13 のモータ 15 への印加電流のデューティ値 DUT ($DUTA \sim DUTE$) を算出し、それに基づく駆動信号をモータ 15 に出力することによって、各切換弁 13 の開度を制御する。この場合、切換弁制御部 28 は、デューティ値 DUT を、図 14 に示す、応答指定型制御アルゴリズムの一種であるスライディングモード制御アルゴリズムによって算出する。

ここで、同図の式中の σ は切換関数、 e は追従誤差、 S は切換関数設定パラメータ ($0 < S < 1$) であり、 $Kech$ 、 $Kadp$ 、 Keq および $keqr$ は、フィードバックゲインである。また、記号 k は、サンプリングサイクルの順番を表す。このようなスライディングモード制御によれば、追従誤差 e が値 0 に迅速に収束するように（すなわち切換弁実開度 θ_{act} が目標開度 θ_T に迅速に収束するように）制御されることで、切換弁 13 の動作が振動的なオーバーシュート特性になるのを防止でき、それにより、義足 1 の不自然な振動的動作を防止することができる。また、切換弁 13 の動特性に経年変化やばらつきが生じてても、義足 1 の動作を安定化させることができる。

あるいは、上記のスライディングモード制御アルゴリズムに代えて、デューティ値 DUT を、図 15 に示す 2 自由度 PID 制御アルゴリズムによって算出してよい。ここで、同図の式中の e は追従誤差、 Kp 、 Kpr 、 Kd 、 Kdr および ki は、フィードバックゲインである。このような 2 自由度 PID 制御によれば、スライディングモード制御の場合と同様、追従誤差 e が値 0 に収束するように制御されることで、切換弁 13 の動作が振動的なオーバーシュート特性になるのを防止でき、義足 1 の不自然な振動的動作を防止することができる。また、切換弁 13 の応答速度を速めることができるため、義足 1 の不自然な振動的動作を防止しつつ、その動作を速めることができる。

次に、コントローラ 25 で実行される義足 1 の制御処理について説明する。この処理は所定時間ごとに実行される。図 16 は、そのメイン処理を示している。まず、そのステップ 1（「S1」と図示。以下同じ）では、かかと接地センサ 1

9 が ON 状態であるか否かを判別する。この答が NO で、足部材 6 のかかとが接地状態でないときには、時間差タイマ $tmdsls2$ を値 0 にリセットする（ステップ 2）。この時間差タイマ $tmdsls2$ および後述する各種のタイマは、処理の実行ごと（所定時間ごと）に値 1 が加算されるインクリメントタイマである。次いで、接地時間差 $tmdsls2fix$ および圧力保持タイマ $tmkpp$ をそれぞれ値 0 にリセットした（ステップ 3、4）後、後述するステップ 12 以降に進む。

前記ステップ 1 の答が YES で、かかとが接地状態にあるときには、つま先接地センサ 20 が ON 状態であるか否かを判別する（ステップ 5）。この答が NO で、足部材 6 のつま先が接地状態でないときには、切換弁制御タイマ $tmcon$ を値 0 にリセットした（ステップ 6）後、前記ステップ 3 以降に進む。以上の実行内容から明らかなように、時間差タイマ $tmdsls2$ は、かかとが接地した後の経過時間を表し、切換弁制御タイマ $tmcon$ は、つま先が接地した後の経過時間を表し、圧力保持タイマ $tmkpp$ は、かかと及びつま先がともに接地状態になった後の経過時間を表す（図 20 参照）。

前記ステップ 5 の答が YES で、かかと及びつま先がともに接地状態にあるときには、接地時間差 $tmdsls2fix$ が値 0 であるか否かを判別する（ステップ 7）。この答が YES、すなわち今回がかかと及びつま先がともに接地状態になった直後のループであるときには、そのときの時間差タイマ $tmdsls2$ の値を、かかと及びつま先の接地時間差 $tmdsls2fix$ としてセットした（ステップ 8）後、ステップ 9 に進む。また、前記ステップ 7 の答が NO のときには、ステップ 8 をスキップしてステップ 9 に進み、状態不定タイマ $tmunknown$ を値 0 にリセットする。したがって、この状態不定タイマ $tmunknown$ は、かかと又はつま先のいずれかが接地状態にない状態の継続時間を表す。

次に、ステップ 10 において、シーケンス制御時間の決定処理を実行する。この決定処理は、前記ステップ 8 でセットされた接地時間差 $tmdsls2fix$ に応じて、各切換弁 13 の圧力保持開始時間、切換弁開放開始時間および切換弁全開開始時間を決定するものであり、図 17 に示すサブルーチンに従って実行される。そのステップ 21 では、接地時間差 $tmdsls2fix$ に応じ、それぞ

れのテーブルを検索することによって、切換弁 13 A～13 Cならびに切換弁 13 Dおよび 13 Eによる圧力保持開始時間 t_{mkpabc} 、 t_{mkpde} を決定する。これらのテーブルでは、圧力保持開始時間 t_{mkpabc} 、 t_{mkpde} はいずれも、接地時間差 $t_{mdsls2fix}$ が小さいほど、すなわち歩行速度が速いほど、より小さな値に設定されている。このような設定により、歩行速度が速いほど、義足 1 の接地に対する圧力保持の開始タイミングが早められるので、各切換弁 13 による圧力保持を、実際の歩行速度に応じた適切なタイミングで行うことができる。

次に、ステップ 22 において、接地時間差 $t_{mdsls2fix}$ に応じ、それぞれのテーブルを検索することによって、切換弁 13 A～13 E の切換弁開放開始時間 t_{mopa1} 、 t_{mopb1} 、 t_{mopc1} 、 t_{mopd1} および t_{mope1} を決定する。これらのテーブルにおいてもまた、切換弁開放開始時間 t_{mopa1} ～ t_{mope1} はいずれも、接地時間差 $t_{mdsls2fix}$ が小さいほど、より小さな値に設定されている。これにより、各切換弁 13 の開放を、実際の歩行速度に応じた適切なタイミングで行うことができる。

また、前述したように、膝関節装置 2 による膝曲げ動作およびそれに続く膝伸ばし動作を実現するために、切換弁 13 B を切換弁 13 A、13 C に先行して開放する必要があることから、前者の t_{mopb1} 値は、後者の t_{mopa1} 値、 t_{mopc1} 値よりも小さな値に設定されている。同様に、足首関節装置 3 による蹴り出し動作およびそれに続くつま先上げ動作を実現するために、切換弁 13 D を切換弁 13 E に先行して開放する必要があることから、前者の t_{mopd1} 値は、後者の t_{mope1} 値よりも小さな値に設定されている。

次に、ステップ 23 において、接地時間差 $t_{mdsls2fix}$ に応じ、それぞれのテーブルを検索することによって、切換弁 13 A～13 E の切換弁全開開始時間 t_{mopa2} 、 t_{mopb2} 、 t_{mopc2} 、 t_{mopd2} および t_{mope2} を決定する。これらのテーブルでは、切換弁全開開始時間 t_{mopa2} ～ t_{mope2} は、切換弁 13 を開放した後に全開制御するという時間的關係から、上記の切換弁開放開始時間 t_{mopa1} ～ t_{mope1} よりも大きな値に設定されている。また、切換弁全開開始時間 t_{mopa2} ～ t_{mope2} はいずれも、

接地時間差 $t_{mds1s2fix}$ が小さいほど、より小さな値に設定されている。これにより、各切換弁 13 の全開を、実際の歩行速度に応じた適切なタイミングで行うことができる。さらに、上述した切換弁開放開始時間 $t_{mopa1} \sim t_{mope1}$ の場合と同じ理由から、切換弁 13 B の t_{mopb2} 値は、切換弁 13 A、13 C の t_{mopa2} 値、 t_{mopc2} 値よりも小さな値に設定され、切換弁 13 D の t_{mopd2} 値は、切換弁 13 E の t_{mope2} 値よりも小さな値に設定されている。

図 16 に戻り、前記ステップ 10 に続くステップ 11 では、各切換弁 13 の目標開度の決定処理を実行する。この決定処理は、接地時間差 $t_{mds1s2fix}$ に応じて、各切換弁 13 の中間開放状態での目標開度を決定するものであり、図 18 に示すサブルーチンに従って実行される。そのステップ 31 では、接地時間差 $t_{mds1s2fix}$ に応じ、それぞれのテーブルを検索することによって、切換弁 13 A \sim 13 E の目標開度 θ_{AT} 、 θ_{BT} 、 θ_{CT} 、 θ_{DT} 、 θ_{ET} を決定する。これらのテーブルにおいてもまた、目標開度 $\theta_{AT} \sim \theta_{ET}$ はいずれも、接地時間差 $t_{mds1s2fix}$ が小さいほど、より小さな値に設定されている。

図 16 に戻り、前記ステップ 11 に続くステップ 12 \sim 16 では、切換弁 13 A \sim 13 E の制御処理をそれぞれ実行する。図 19 は、切換弁 13 A の制御処理のサブルーチンを示しており、以下、図 20 を参照しながら、その内容を説明する。まず、ステップ 41 では、状態不定タイマ $t_{munknown}$ の値が、所定値 $TMUKMAX$ （例えば 3 秒相当）よりも大きいか否かを判別する。この答が YES、すなわち、かかと又はつま先のいずれかが接地状態にない状態が所定時間以上、継続したときには、義足 1 の状態が不定であり、義足 1 が歩行状態にないとして、切換弁 13 A の目標開度 θ_{AT} を値 0（全閉）に設定する（ステップ 42）。これに応じて、モータ 15 への印加電流がゼロに設定されることにより、切換弁 13 A は全閉状態に制御される。このように、義足 1 が歩行状態にないときに、モータ 15 への印加電流をゼロに設定することによって、バッテリー 17 の消費電力を最小限に抑制できるとともに、バッテリー 17 の軽量化を図ることができる。

前記ステップ 41 の答が NO のときには、切換弁制御タイマ t_{mcon} の値が

0であるか否かを判別する（ステップ43）。この答がYESのとき、すなわちかかとが接地状態であり且つま先が接地状態にないときには（図20の時刻 $t_1 \sim t_2$ 区間）、切換弁13Aの目標開度 θ_{AT} を90度（全開）に設定する（ステップ44）。これにより、かかとが接地した直後（時刻 t_1 ）から、切換弁13Aが全開状態に制御され、リンクAに圧力が蓄積される。

前記ステップ43の答がNOのときには、圧力保持タイマ t_{mkpp} の値が、図17のステップ21で設定した圧力保持開始時間 t_{mkpabc} よりも小さいか否かを判別する（ステップ45）。この答がYESのとき、すなわち、つま先の接地後の経過時間が圧力保持開始時間 t_{mkpabc} に達していないときには（時刻 $t_2 \sim t_3$ 区間）、前記ステップ44を実行することによって、切換弁13Aの全開制御状態を保持し、リンクAへの圧力の蓄積動作を継続する。

前記ステップ45の答がNOで、つま先の接地後の経過時間が圧力保持開始時間 t_{mkpabc} に達したときには（時刻 t_3 ）、切換弁制御タイマ $t_{mc on}$ の値が、図17のステップ22で設定した切換弁開放開始時間 t_{mopa1} よりも大きいかな否かを判別する（ステップ46）。このステップ45の実行当初は、この答がNOになるので、その場合には前記ステップ42を実行し、切換弁13Aを全閉制御する。これにより、リンクAに蓄積された圧力が保持される（時刻 $t_3 \sim t_5$ 区間）。

前記ステップ46の答がYESで、つま先の接地後の経過時間が切換弁開放開始時間 t_{mopa1} に達したときには（時刻 t_5 ）、切換弁制御タイマ $t_{mc on}$ の値が、図17のステップ23で設定した切換弁全開開始時間 t_{mopa2} よりも大きいかな否かを判別する（ステップ47）。このステップ47の実行当初は、この答がNOになるので、その場合にはステップ48に進み、切換弁13Aの目標開度 θ_{AT} を、図18で設定した目標開度 θ_{AT} に設定する。これにより、切換弁13Aの中間開放制御が開始され（時刻 t_5 ）、膝曲げ動作が開始される。また、前述したように、この場合の切換弁13Aの開度制御は、応答指定型制御アルゴリズムや2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて行われる。

前記ステップ47の答がYESで、つま先の接地後の経過時間が切換弁全開開始時間 t_{mopa2} に達したときには（時刻 t_6 ）、前記ステップ44を実行す

る。これにより、切換弁 13 A の全開制御が開始される。その後は、義足 1 が不定状態にならない限り、切換弁 13 A は全開状態に維持され、義足 1 の歩行状態に応じた切換弁 13 A の制御が、上述したようにして繰り返し実行される。

図 2 1 ~ 図 2 4 は、他の切換弁 13 B ~ 13 E の制御処理のサブルーチンを示している。これらの図に示すように、切換弁 13 B ~ 13 E の制御処理の内容は、切換弁 A の場合と基本的に同じであり、各切換弁用に設定された圧力保持開始時間 t_{mkpabc} または t_{mkpde} 、切換弁開放開始時間 $t_{mopb1} \sim t_{mope1}$ 、および切換弁全開開始時間 $t_{mopb2} \sim t_{mope2}$ を、それぞれ適用することによって、同様に行われる。

図 2 5 A、2 5 B は、義足 1 へのバッテリー 17、キャパシタ 18 およびコントローラ 25 のレイアウトの一例を示している。これらの構成要素は、雨天時の浸水や水はねなどに起因するショートや故障を避けるために、できるだけ上側に配置することが好ましい。また、同図のキャパシタ 18 のように、膝下部材 5 に配置する場合には、膝関節部（リンク A ~ C）を中心とした慣性モーメントが小さい方が、膝下部材 5 の回転速度、したがって歩行速度を速くすることができるので、できるだけリンク A ~ C に近い上側に配置するのがよい。一方、同図のバッテリー 17 およびコントローラ 25 のように、リンク A ~ C または膝上部材 4 に配置する場合には、その上側の股関節部を中心とした慣性モーメントが小さい方が、義足 1 をより小さな力で動かせるので、できるだけ膝下部材 5 から遠い上側に配置するのがよい。

図 2 6 A、2 6 B は、本発明の第 2 実施形態による義足の膝関節装置を示している。この膝関節装置 32 は、膝上部材 4 と膝下部材 5 の間に、アクチュエータとして 2 本の伸縮リンク（以下、単に「リンク」という）F、G を用いた簡易型のものである。両リンク F、G の構成は、前述したリンク A ~ E と同じである。リンク F は、右前側に配置されており、膝上部材 4 に剛結されるとともに、膝下部材 5 に回転ジョイント 38 を介して回転自在に連結されている。リンク G は、リンク F に対して左側および後ろ側にオフセットして配置されており、膝上部材 4 および膝下部材 5 に、それぞれ回転ジョイント 37、38 を介して回転自在に連結されている。他の構成は、第 1 実施形態の膝関節装置と同じである。

したがって、この膝関節装置 32 によれば、X 脚/O 脚に対応した関節動作は行えないものの、膝の曲げ動作および伸ばし動作を、第 1 実施形態よりも簡便な構成で実現することができる。

なお、本発明は、説明した実施形態に限定されることなく、種々の態様で実施することができる。例えば、実施形態では、リンク B とリンク A、C の間、およびリンク D とリンク E の間で、切換弁開放開始時間 $t_{mopa1} \sim t_{mope1}$ や切換弁全開開始時間 $t_{mopa2} \sim t_{mope2}$ を異なる設定とすることで、主としてそれらの動作タイミングを異なるように制御しているが、これに代えて、またはこれとともに、例えば中間開放状態での目標開度 θ_T を大きく異ならせることによって、動作速度を異なるように制御してもよい。

また、切換弁 13 の開度を制御する際の応答指定型制御アルゴリズムとして、スライディングモード制御アルゴリズムを用いているが、これに代えて、バックステッピング制御アルゴリズムを採用してもよい。さらに、実施形態の義足 1 は、膝関節装置 2 と足首関節装置 3 を組み合わせたものであるが、膝下切断の場合には、義足が足首関節装置 3 のみで構成されることはもちろんである。

産業上の利用可能性

本発明の義足の関節装置、当該関節装置を制御する方法およびコントロールユニットによれば、アクチュエータは、義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積するとともに、蓄積したエネルギーを放出することにより動作する。そして、動作したアクチュエータで下部材を駆動することによって、関節動作が行われる。このように、義足に作用する体重を動力源として関節動作を行うので、関節を直接的に動作させるための電源が不要になり、その結果、義足を駆動するための電源の飛躍的な軽量化および持続時間の長期化を達成することができ、義足に好適にかつ有利に用いることができる。

請求の範囲

1. 下記を備える義足の関節装置：

上部材；

前記上部材から間隔を隔てた下部材；および

前記上部材と前記下部材の間に連結され、義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積するとともに、当該蓄積したエネルギーを放出することにより動作し、前記下部材を駆動することによって関節動作を行わせるアクチュエータ。

2. 前記蓄積されたエネルギーの放出を制御することにより、前記アクチュエータの動作を制御する制御手段をさらに備え、

当該制御手段は、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御するクレーム 1 の関節装置。

3. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記制御手段は、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御するクレーム 2 の関節装置。

4. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 3 の関節装置。

5. 前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材であるクレーム 3 の関節装置。

6. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、

前記制御手段は、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御するクレーム 2 の関節装置。

7. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 6 の関節装置。

8. 前記義足の歩行速度を検出する歩行速度検出手段をさらに備え、

前記制御手段は、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御するクレーム2の関節装置。

9. 前記歩行速度検出手段は、

義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出するクレーム8の関節装置。

10. 前記制御手段は、前記アクチュエータの動作を、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて制御するクレーム2の関節装置。

11. 前記制御手段は、前記アクチュエータの動作を、2自由度PID制御アルゴリズムに基づいて制御するクレーム2の関節装置。

12. 前記制御手段により前記アクチュエータの動作を制御するための電源と、

前記義足が歩行状態にあるか否かを検出する歩行状態検出手段と、
をさらに備え、

前記制御手段は、前記歩行状態検出手段により前記義足が歩行状態にないと検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させるクレーム2の関節装置。

13. 互いに間隔を隔てた上部材と下部材、および前記上部材と前記下部材の間に連結されたアクチュエータからなる義足の関節装置を制御する方法であって、下記を備えるもの：

前記アクチュエータに義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積させる蓄積ステップ；そして

当該蓄積されたエネルギーを放出させることにより前記アクチュエータに前記下部材を駆動させて、当該下部材に関節動作を行わせる放出ステップ。

14. 前記放出ステップは、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御することを含むクレーム13の方法。

15. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記放出ステップは、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御することを含むクレーム 14 の方法。

16. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 15 の方法。

17. 前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材であるクレーム 15 の方法。

18. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、

前記放出ステップは、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御することを含むクレーム 14 の方法。

19. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 18 の方法。

20. 前記義足の歩行速度を検出する歩行速度検出ステップをさらに備え、

前記放出ステップは、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御することを含むクレーム 14 の方法。

21. 前記関節装置は、義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、

前記歩行速度検出ステップは、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出することを含むクレーム 20 の方法。

22. 前記蓄積ステップ及び前記放出ステップは、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて実行されるクレーム 14 の方法。

23. 前記蓄積ステップ及び前記放出ステップは、2 自由度 P I D 制御アルゴリズムに基づいて実行されるクレーム 14 の方法。

24. 前記関節装置は、前記アクチュエータの動作を制御するための電源を備え、

前記方法は、前記義足が歩行状態にあるか否かを検出する歩行状態検出ステップと、前記歩行状態検出ステップにおいて前記義足が歩行状態にないと検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させる電力セーブステップとをさらに備えるクレーム 14 の方法。

25. 互いに間隔を隔てた上部材と下部材、および前記上部材と前記下部材の間に連結されたアクチュエータからなる義足の関節装置の制御をコンピュータによって行うための制御プログラムを含むコントロールユニットであって、

当該制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが義足に作用する体重によるエネルギーを蓄積し、そして当該蓄積されたエネルギーを放出することにより前記アクチュエータに前記下部材を駆動させて、当該下部材に関節動作を行わせるようにさせる。

26. 前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を制御させるクレーム 25 のコントロールユニット。

27. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、体重の作用方向と異なる方向の前記関節動作を生じさせるために、当該複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御させるクレーム 26 のコントロールユニット。

28. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 27 のコントロールユニット。

29. 前記上部材が膝下部材であり、前記下部材が足部材であるクレーム 27 のコントロールユニット。

30. 前記アクチュエータが、前記上部材および前記下部材のそれぞれ異なる位置に連結された複数のアクチュエータで構成され、

前記下部材は、前記複数のアクチュエータに回転自在に連結され、

前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記関節動作としてひねり動作を伴う回転動作を生じさせるために、前記複数のアクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を互いに異なるように制御させるクレーム 26 のコントロールユニット。

31. 前記上部材が膝上部材であり、前記下部材が膝下部材であるクレーム 30 のコントロールユニット。

32. 前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足の歩行速度を検出させ、

前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータが前記蓄積されたエネルギーを放出するようにさせるときに、前記アクチュエータの動作速度および動作タイミングの少なくとも一方を、前記検出された歩行速度に応じて制御するクレーム 26 のコントロールユニット。

33. 前記関節装置は、義足の足の裏側の互いに異なる部位に配置され、当該足の接地状態を検出する複数の接地センサを有し、

前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足の歩行速度を検出させるときに、当該複数の接地センサの出力時間差に基づいて前記歩行速度を検出させるクレーム 32 のコントロールユニット。

34. 前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータによる前記エネルギーの蓄積及び放出を、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて制御させるクレーム 26 のコントロールユニット。

35. 前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記アクチュエータによる前記エネルギーの蓄積及び放出を、2 自由度 P I D 制御アルゴリズムに基づいて制御させるクレーム 26 のコントロールユニット。

36. 前記関節装置は、前記アクチュエータの動作を制御するための電源をさらに備え、

前記制御プログラムは、前記コンピュータに、前記義足が歩行状態にあるか否かを検出させ、前記義足が歩行状態にないと検出されたときに、前記アクチュエータを前記電源の消費電力が低下する方向に動作させるようにさせるクレーム 2

6のコントロールユニット。

図 1 A

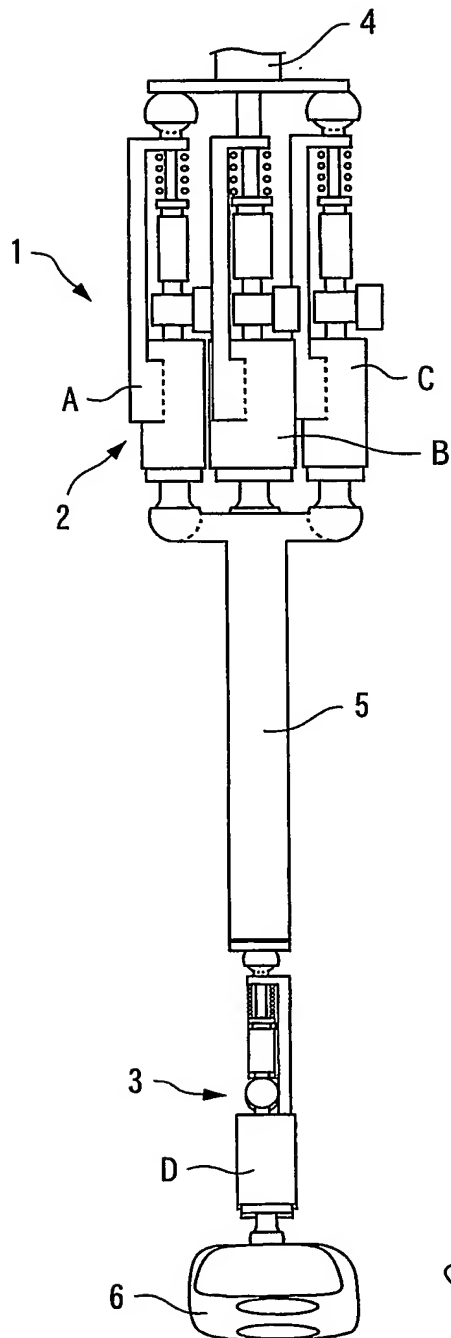
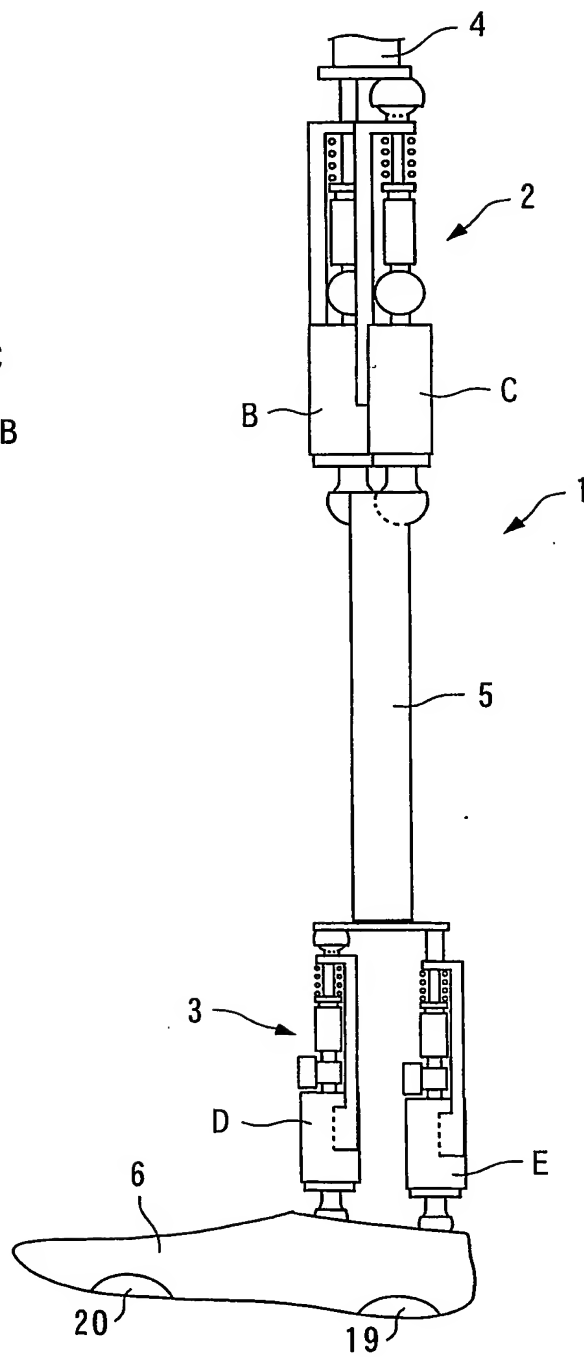


図 1 B



2 / 2 5

図 2 A

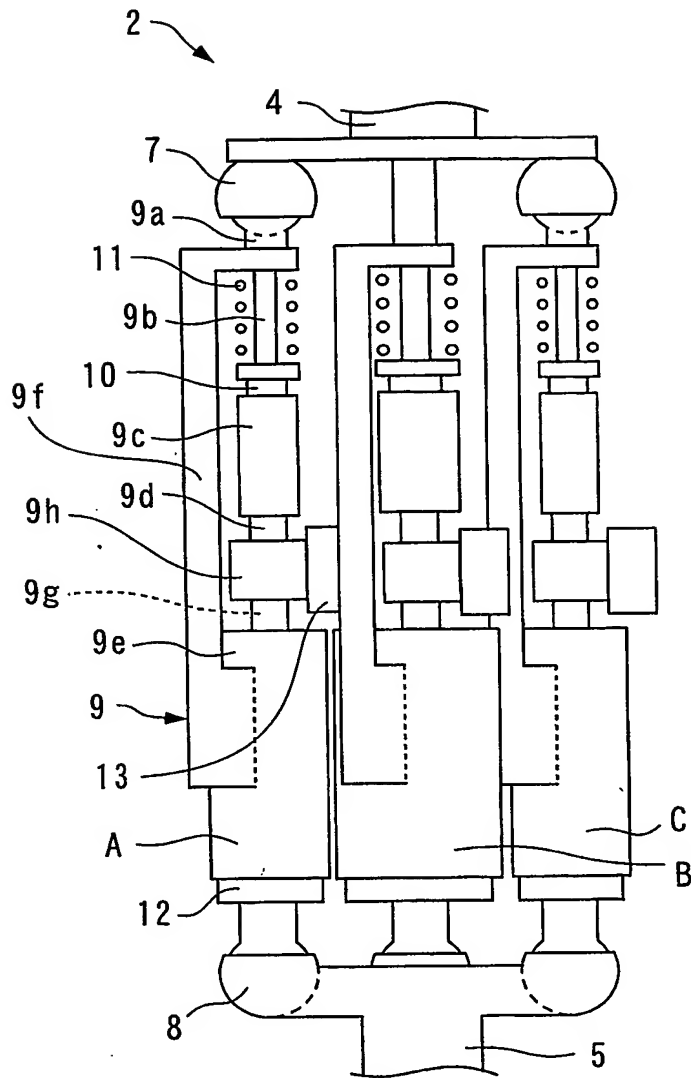
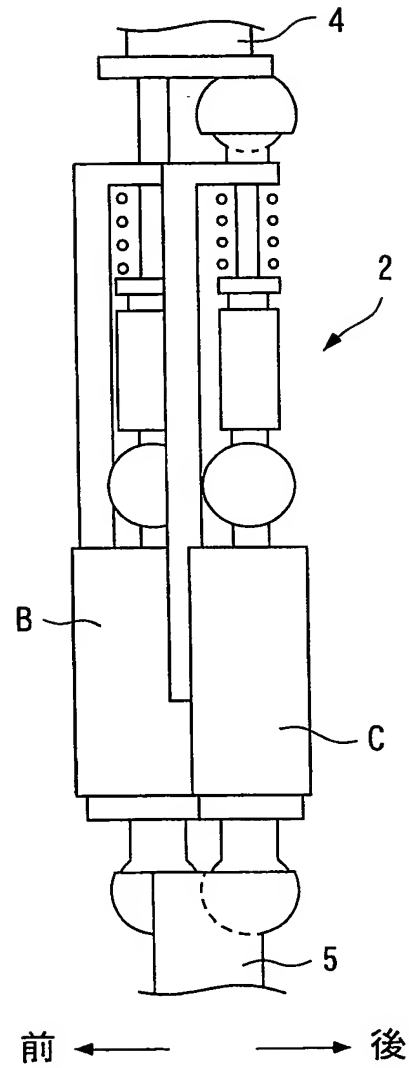


図 2 B



3 / 2 5

図 3

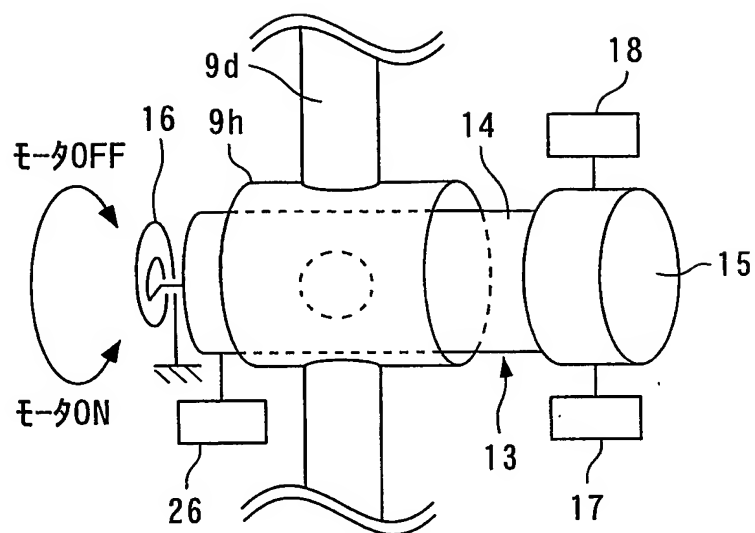


図 4 A

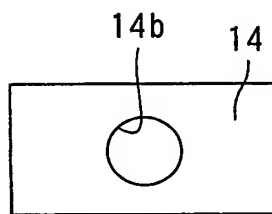


図 4 B

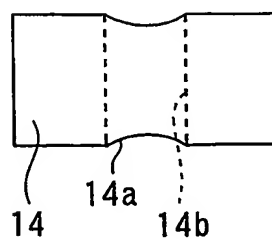
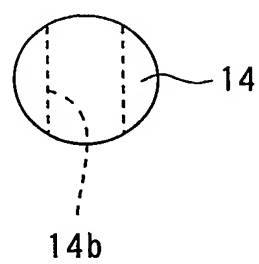


図 4 C



4 / 2 5

図 5 A
全閉

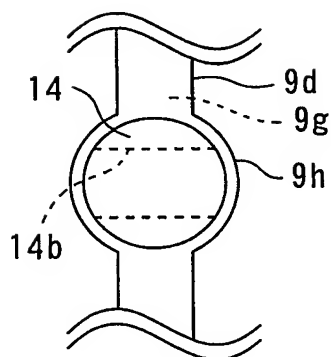


図 5 B
全開

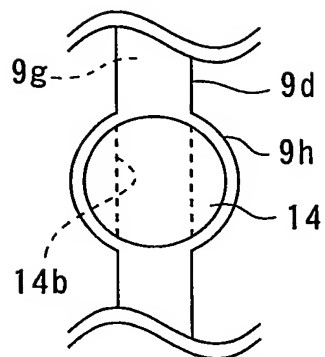
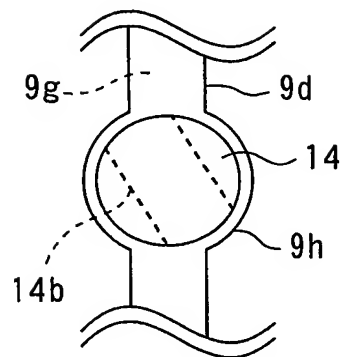


図 5 C
中間開放



5 / 25

図 6 A

通常時

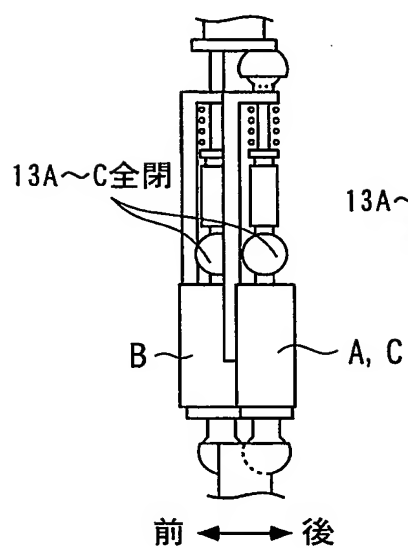


図 6 B

体重印加時

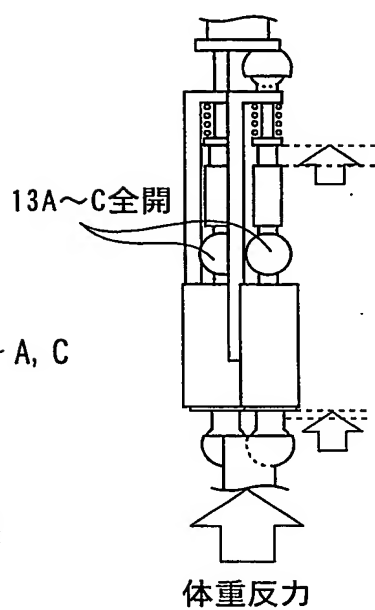


図 6 C

圧力保持時

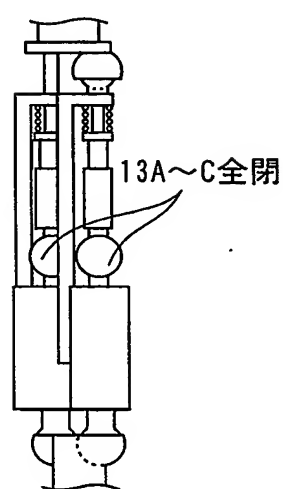


図 6 D

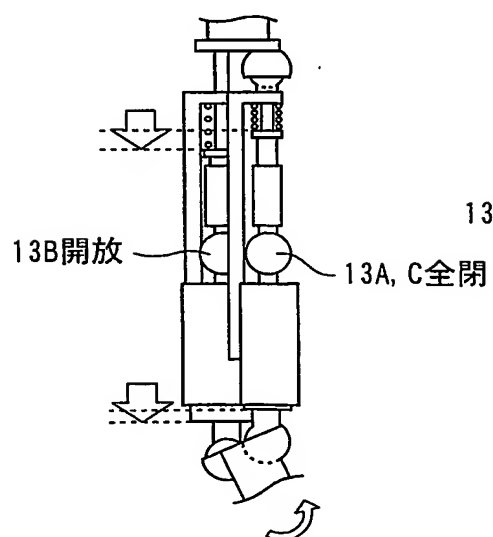
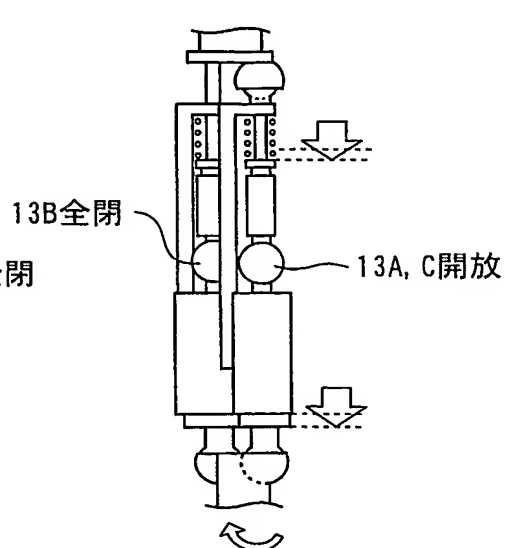
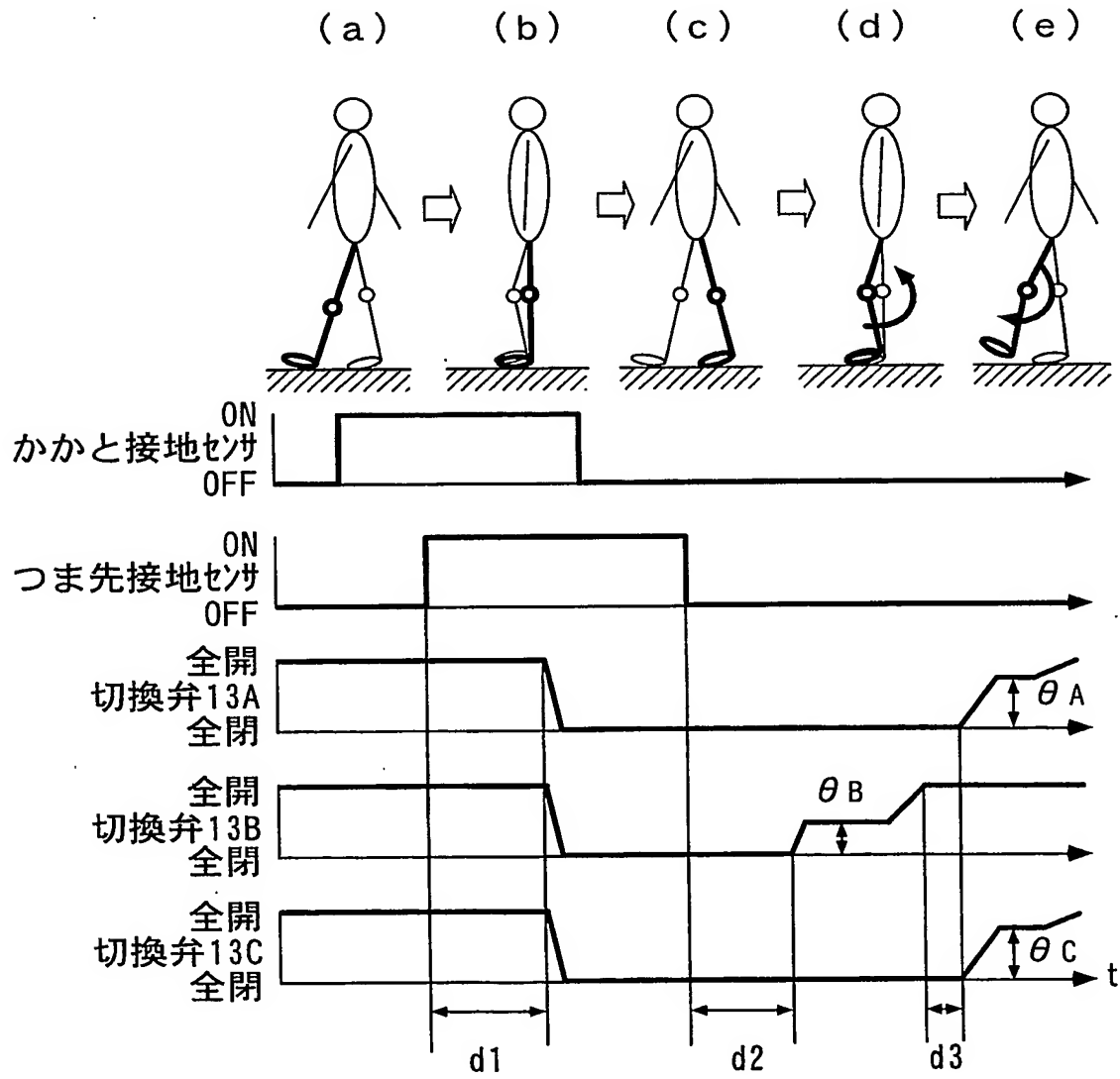
膝下部材後方回転時
(膝曲げ動作)

図 6 E

膝下部材前方回転時
(膝伸ばし動作)

6 / 2 5

図 7



7 / 2 5

図 8

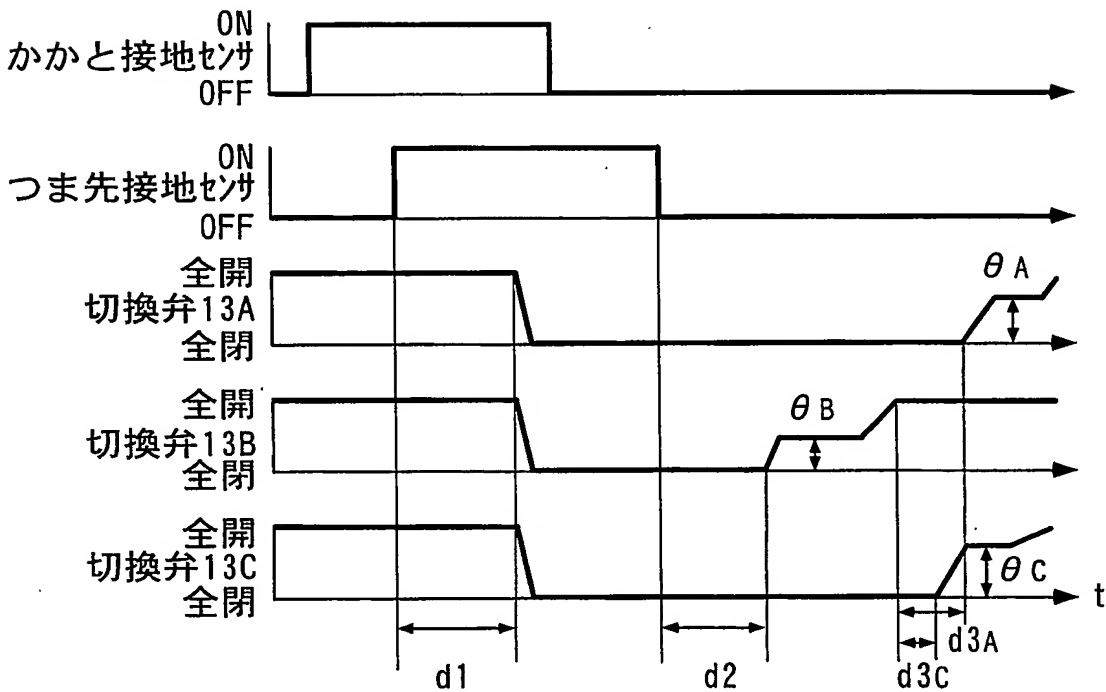


図 9 A
通常脚

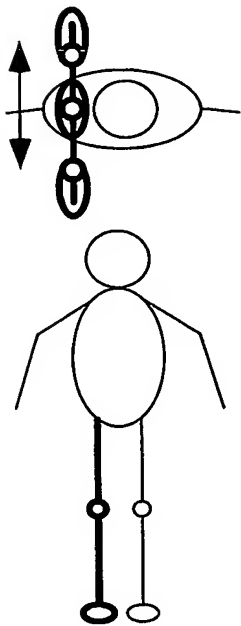


図 9 B
X脚

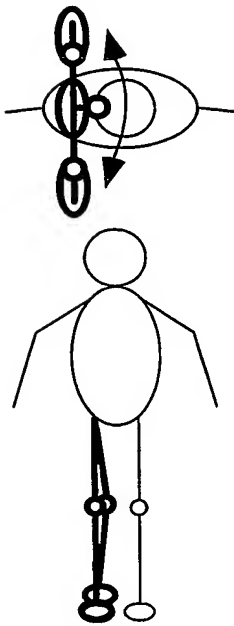
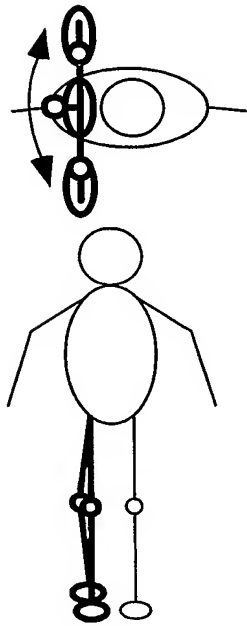


図 9 C
O脚



9 / 2 5

図 1 0 A

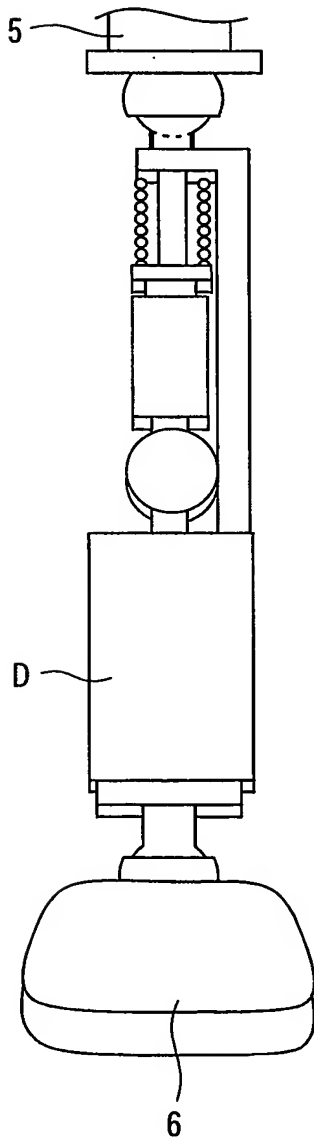
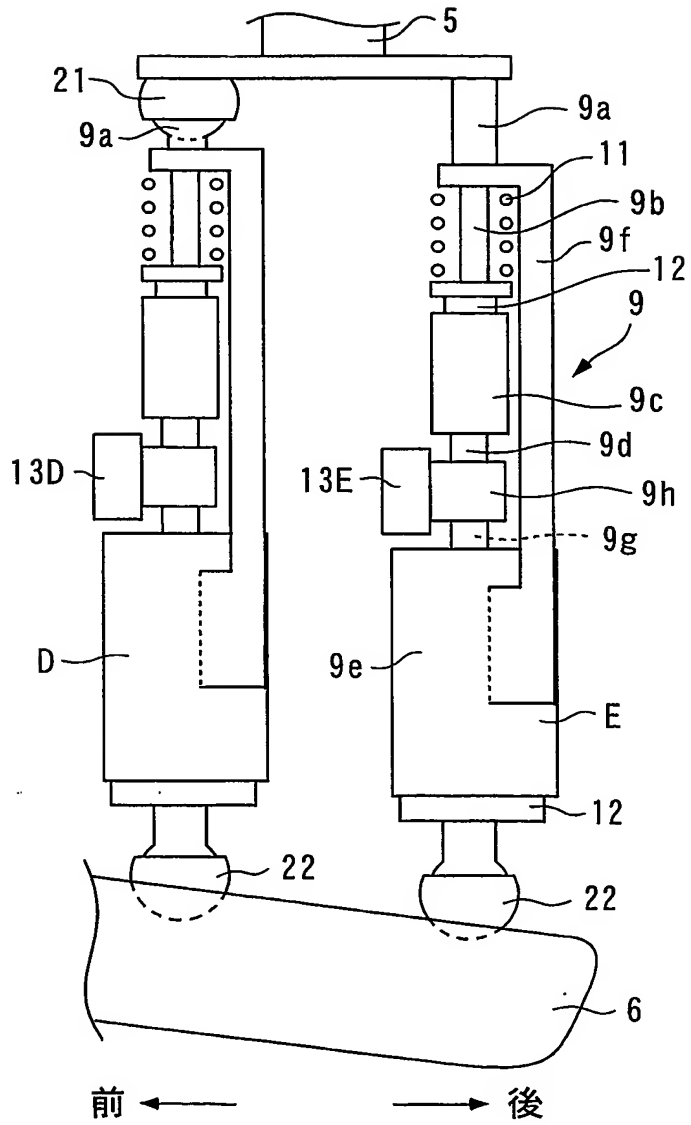
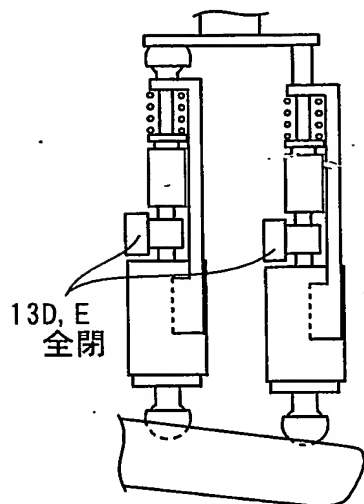


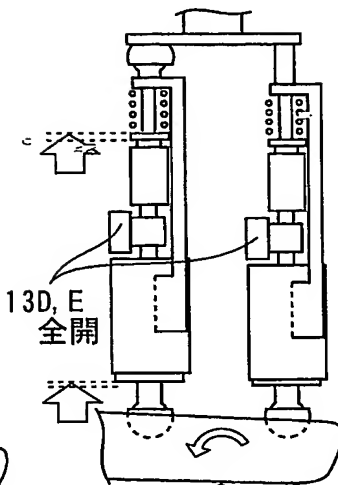
図 1 0 B



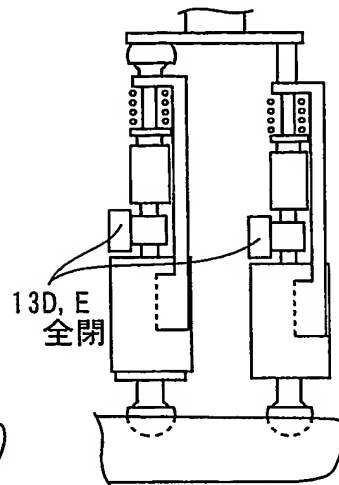
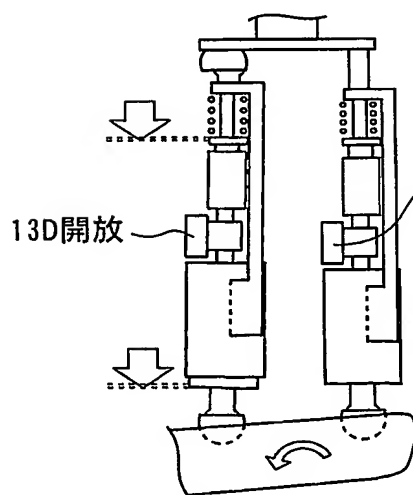
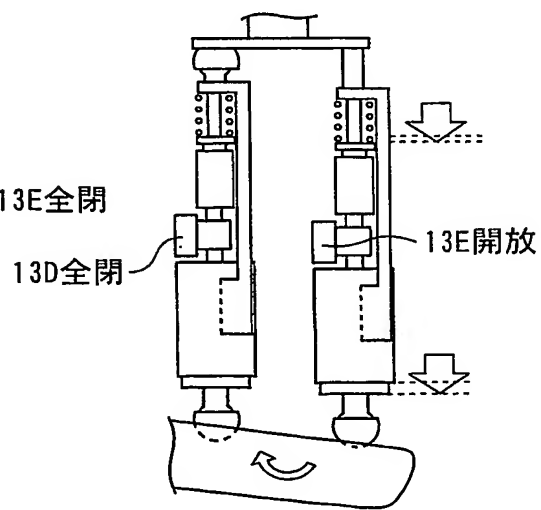
10 / 25

図 1 1 A
通常時

前 ← → 後

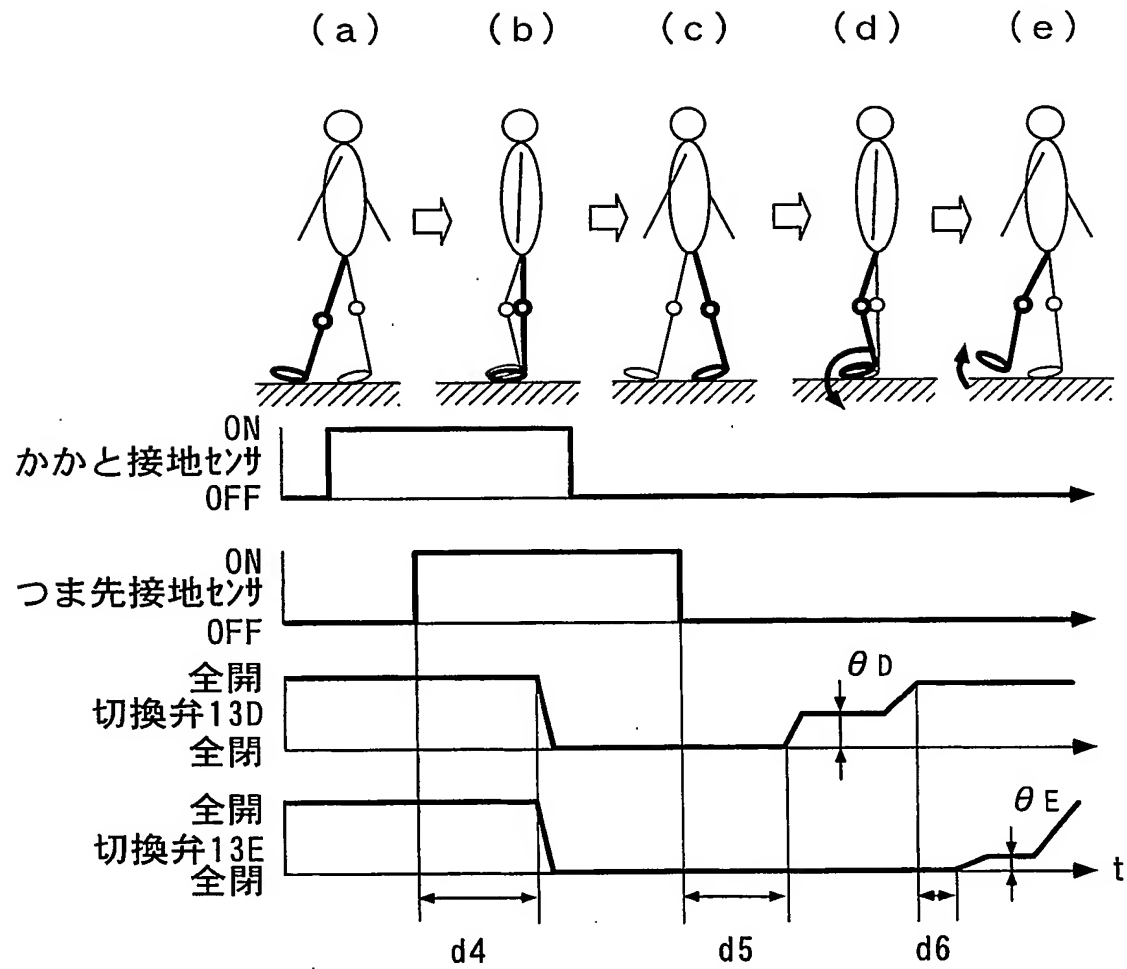
図 1 1 B
体重印加時

体重反力

図 1 1 C
圧力保持時図 1 1 D
足部材下方回転時
(蹴り出し動作)図 1 1 E
足部材上方回転時
(つま先上げ動作)

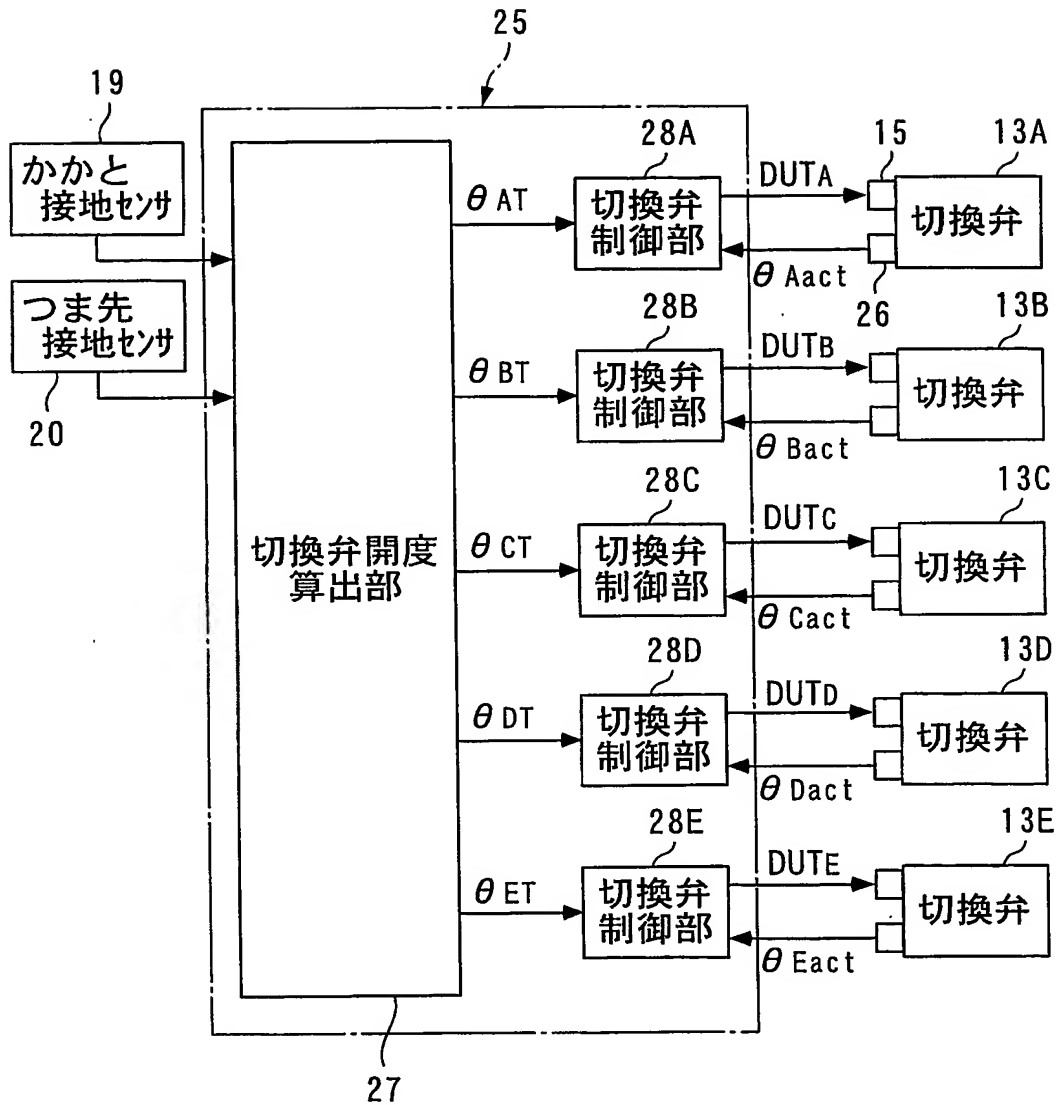
1, 1 / 2 5

図 1 2



12 / 25

図 13



1 3 / 2 5

図 1 4

応答指定型制御アルゴリズム

$$DUT(k) = -Krch \sigma(k) - Kadp \sum_{i=0}^k \sigma(i) - Keq \theta_{act}(k) - Keqr \theta_T(k) \quad (3-1)$$

$$\sigma(k) = e(k) - Se(k-1) \quad (3-2)$$

$$e(k) = \theta_{act}(k) - \theta_T(k) \quad (3-3)$$

図 1 5

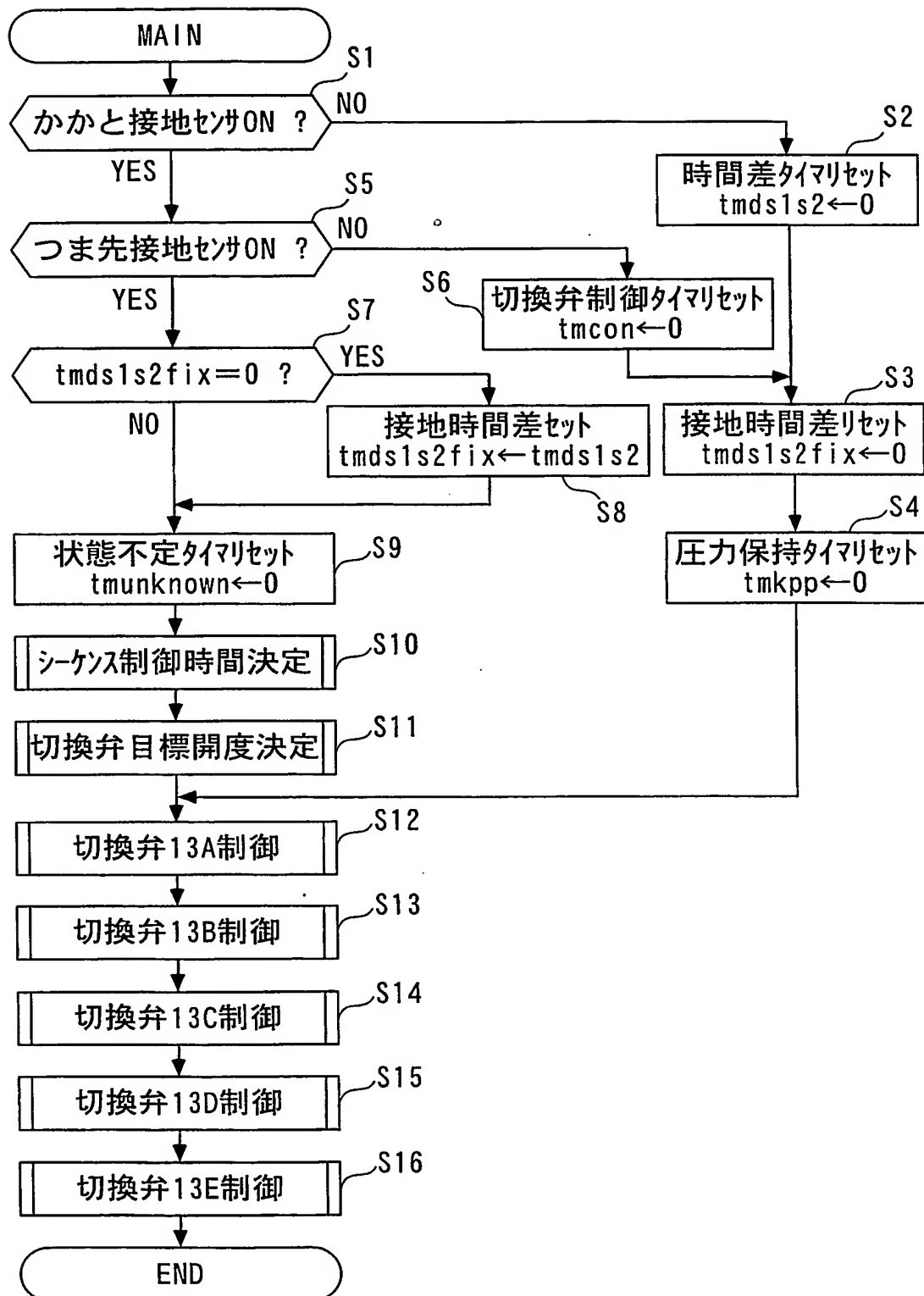
2自由度PID制御アルゴリズム

$$DUT(k) = -Kp \theta_{act}(k) + Kpr \theta_T(k) - Kd \dot{\theta}_{act} + Kdr \dot{\theta}_T(k) - Ki \sum_{i=0}^k e(i) \quad (3-4)$$

$$e(k) = \theta_{act}(k) - \theta_T(k)$$

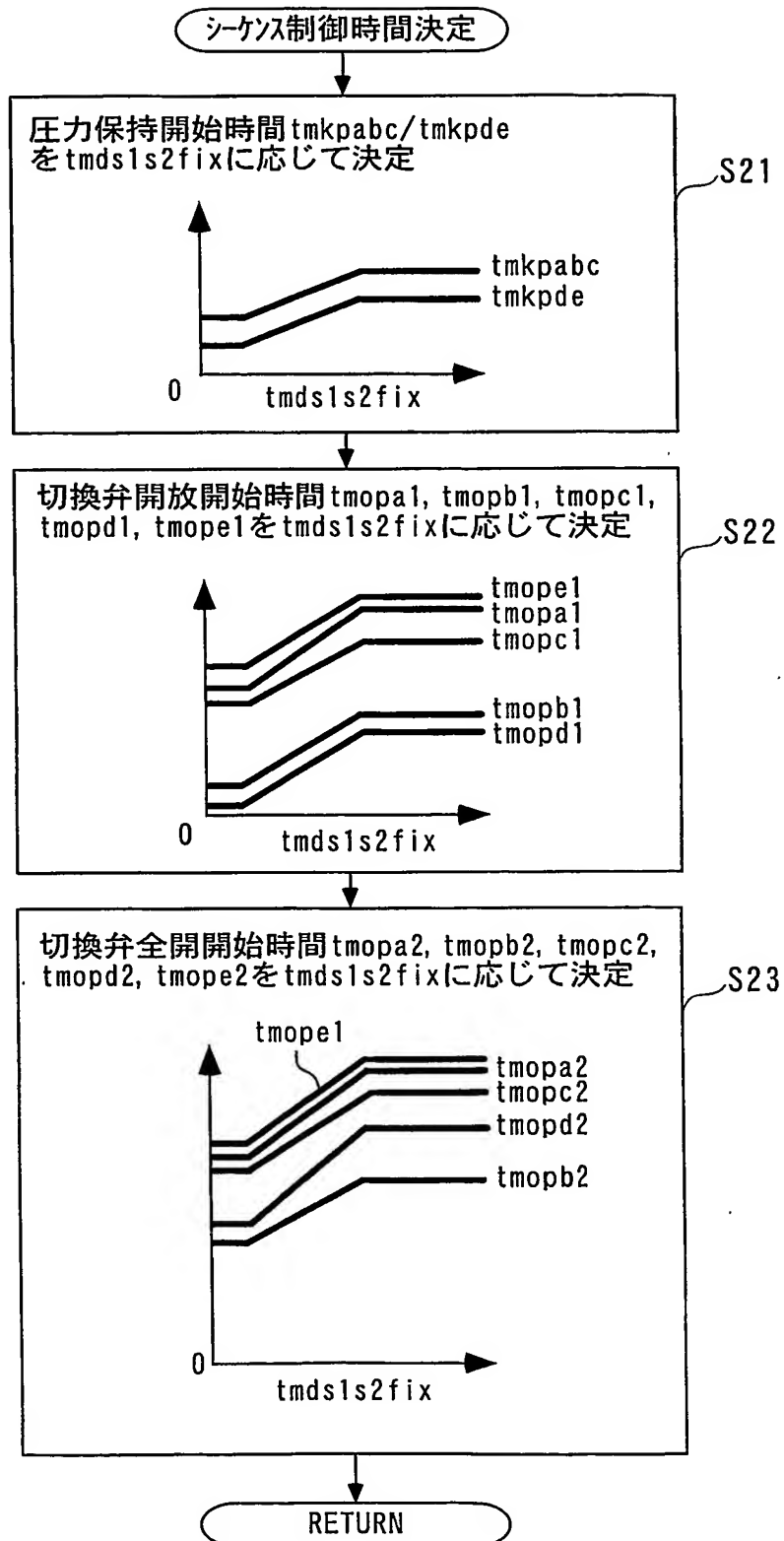
14 / 25

図 16



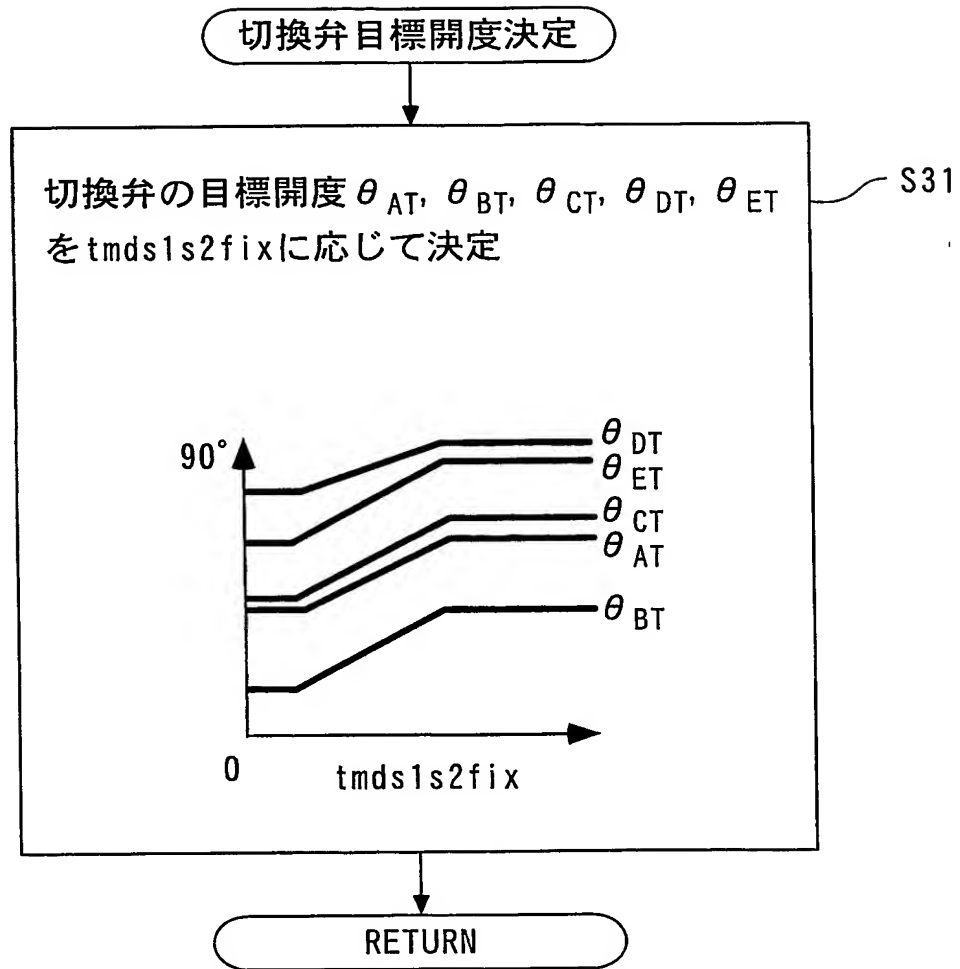
15 / 25

図 17



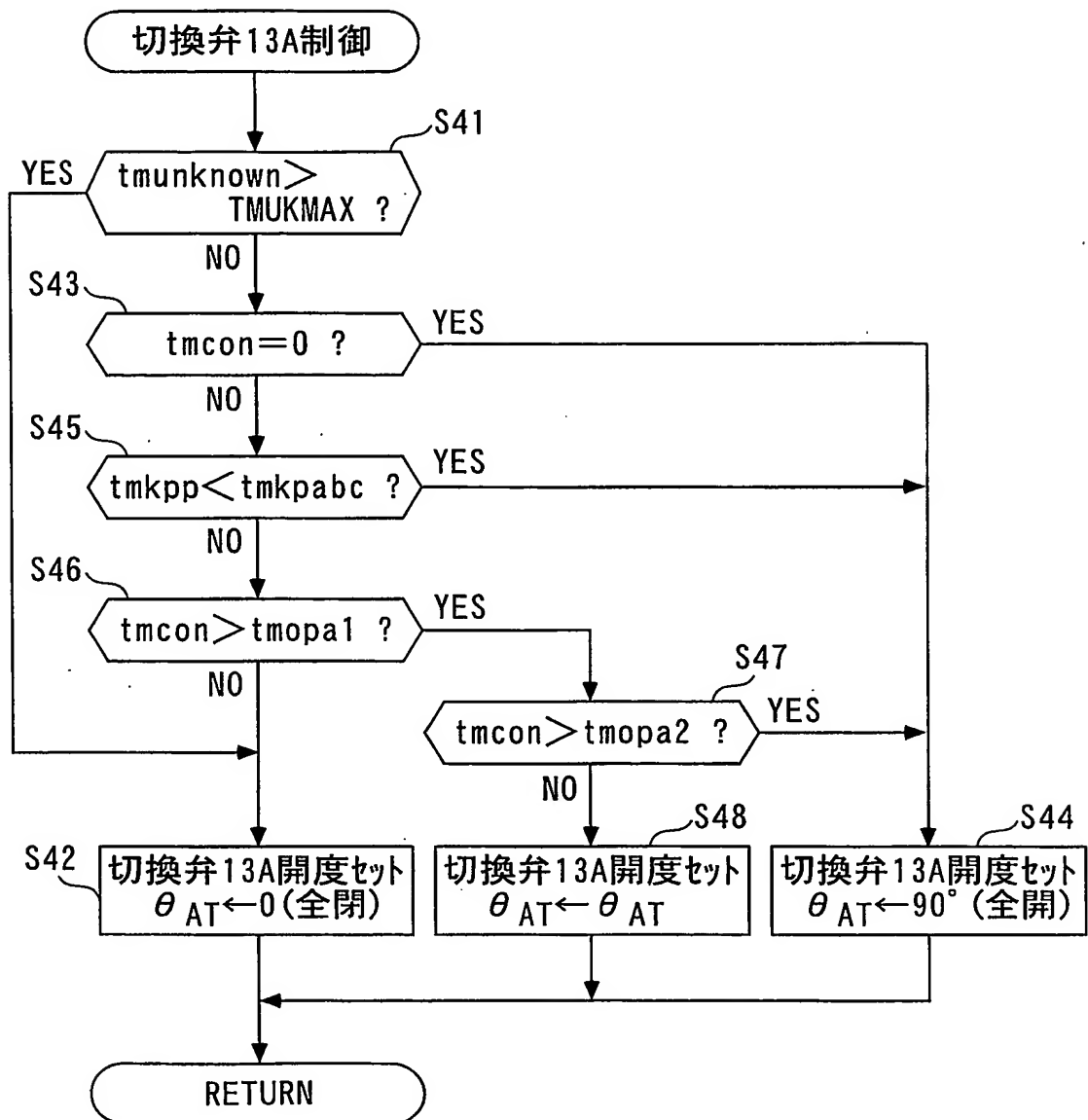
16 / 25

図 18



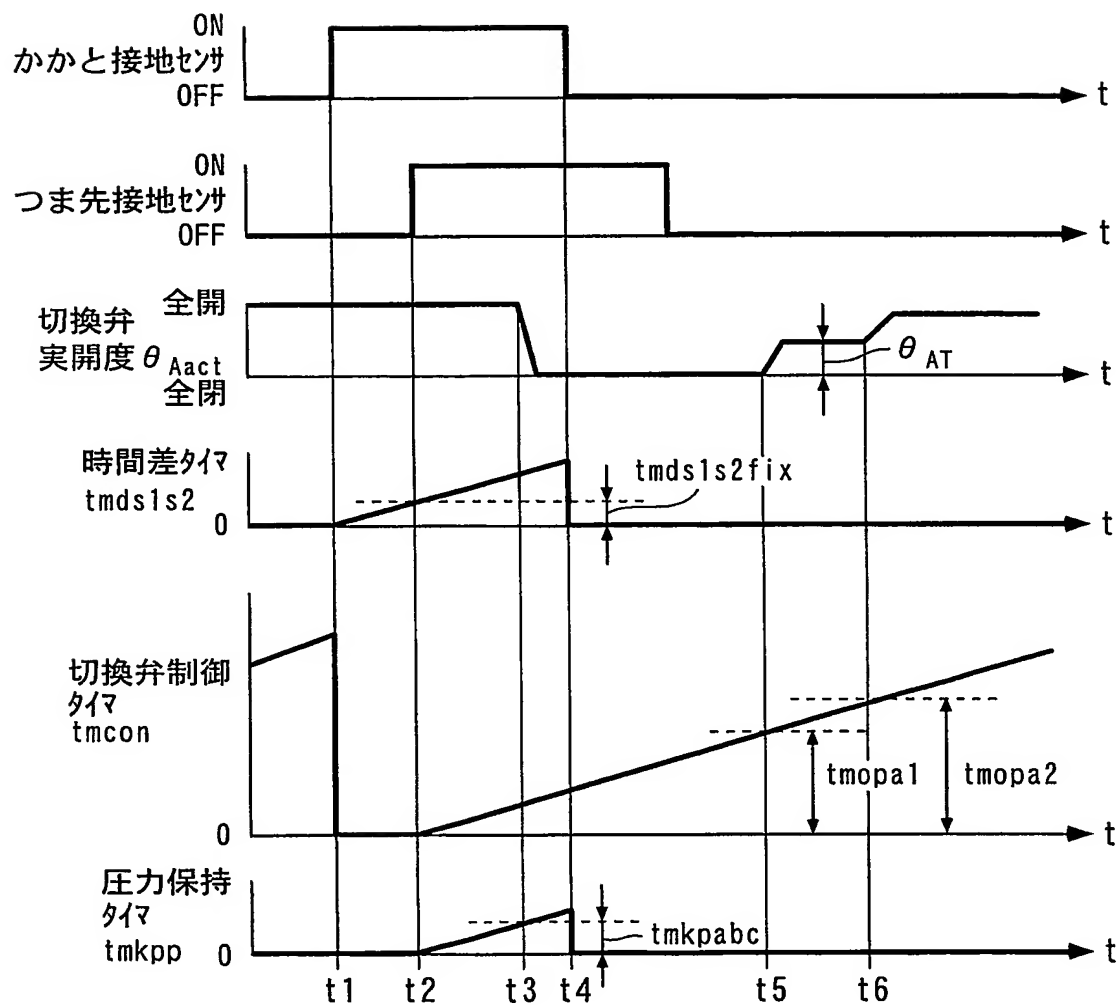
17 / 25

図 19



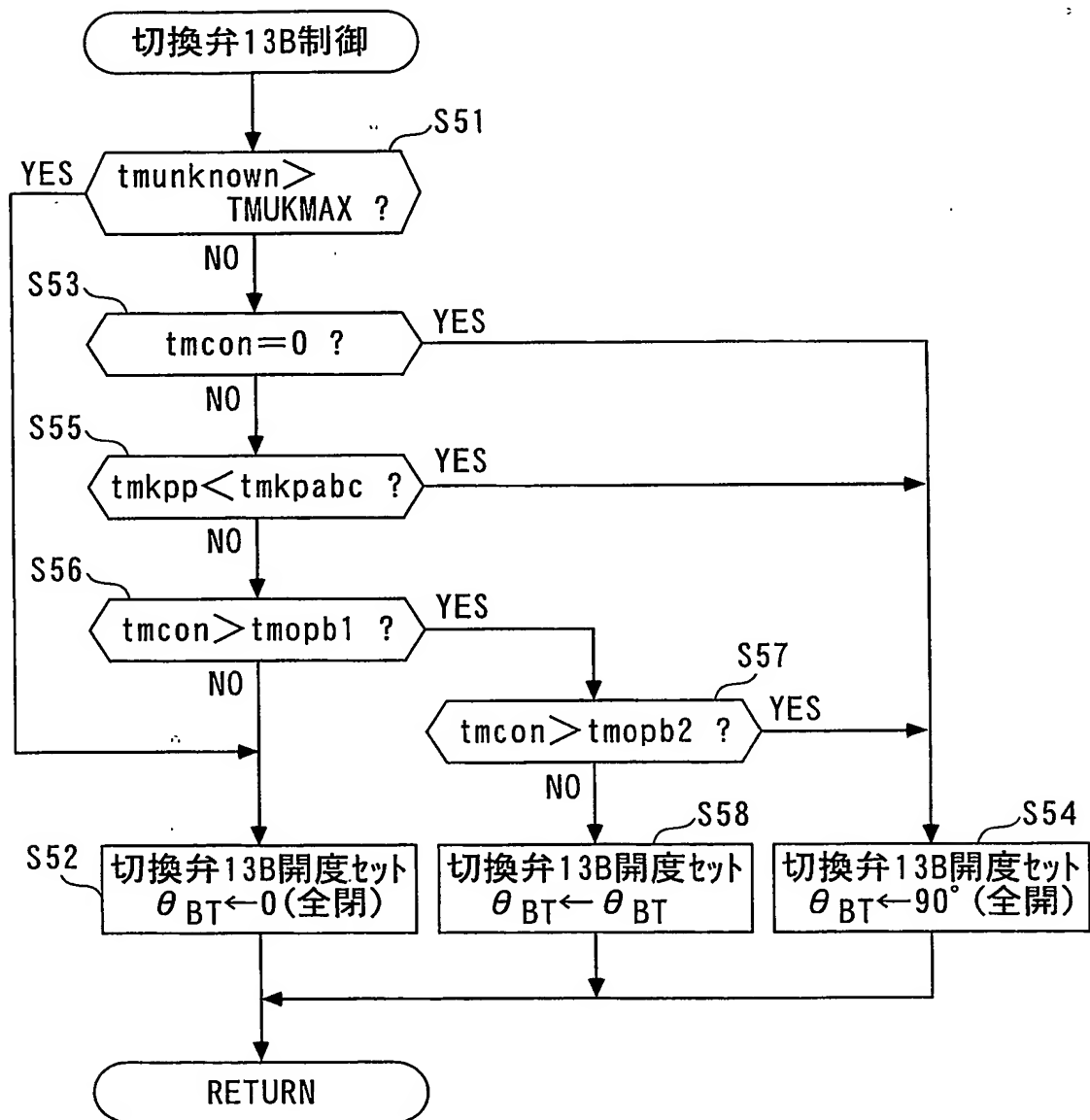
18/25

図 20



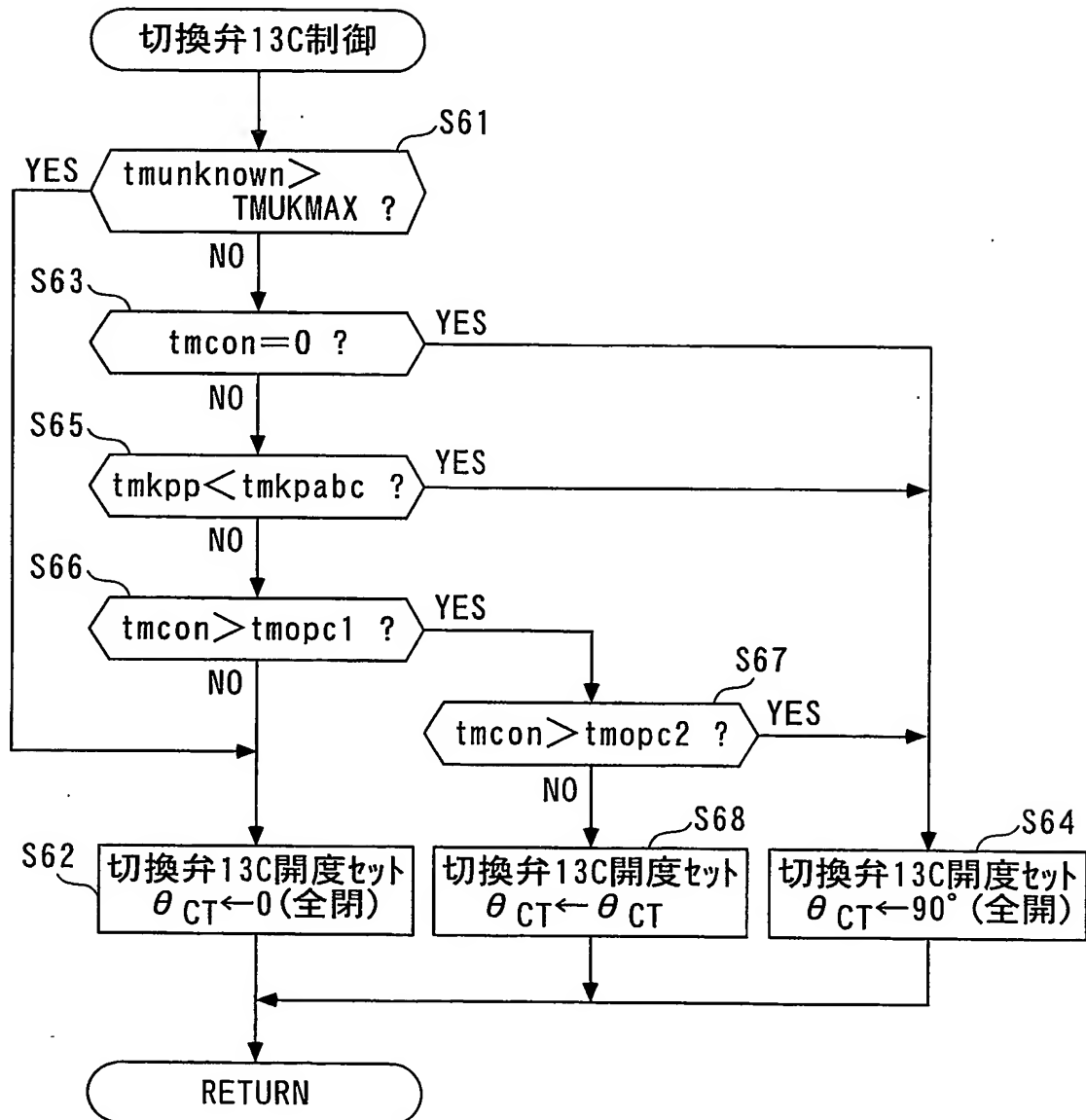
19/25

図 21



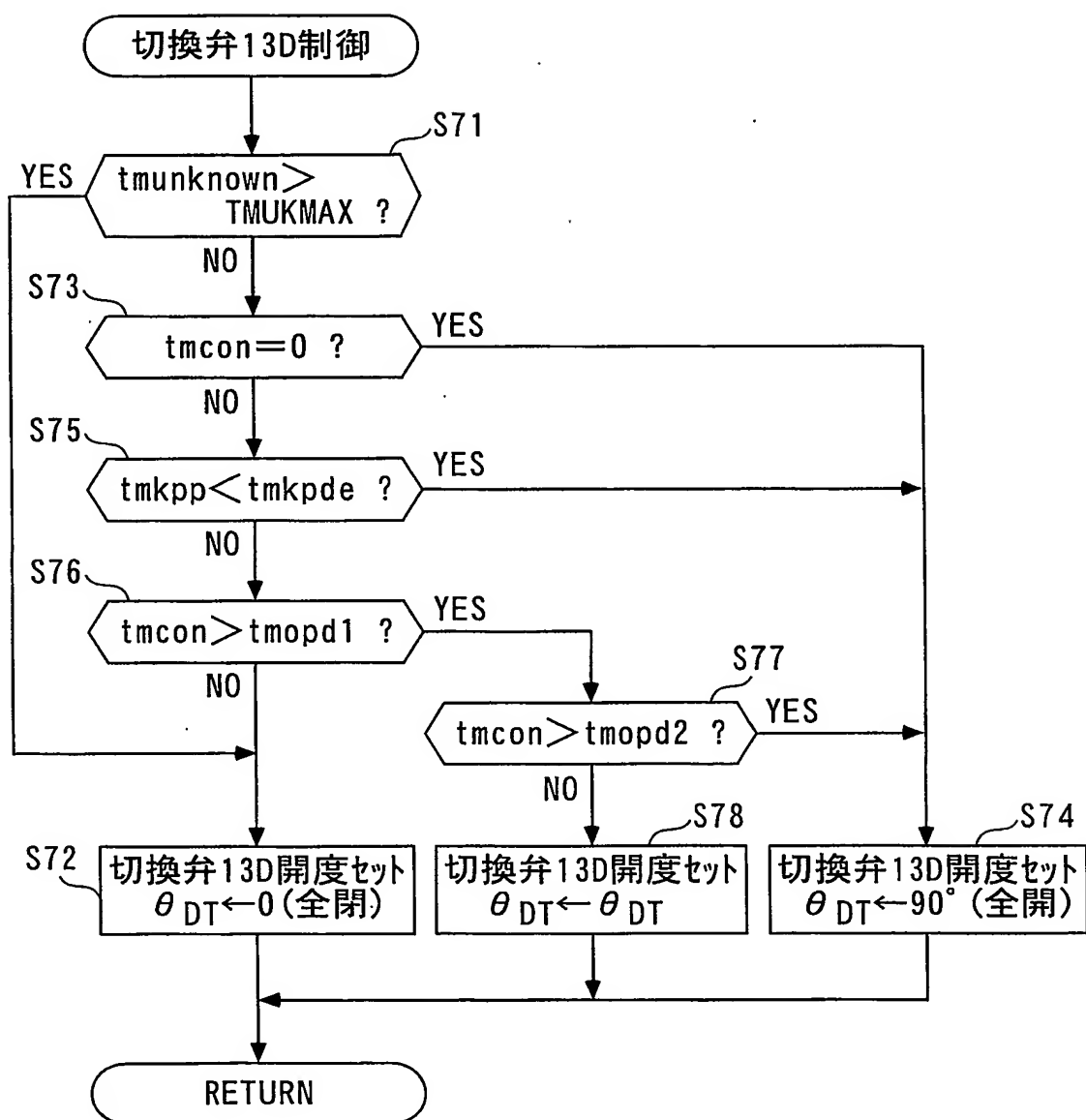
20 / 25

図 22



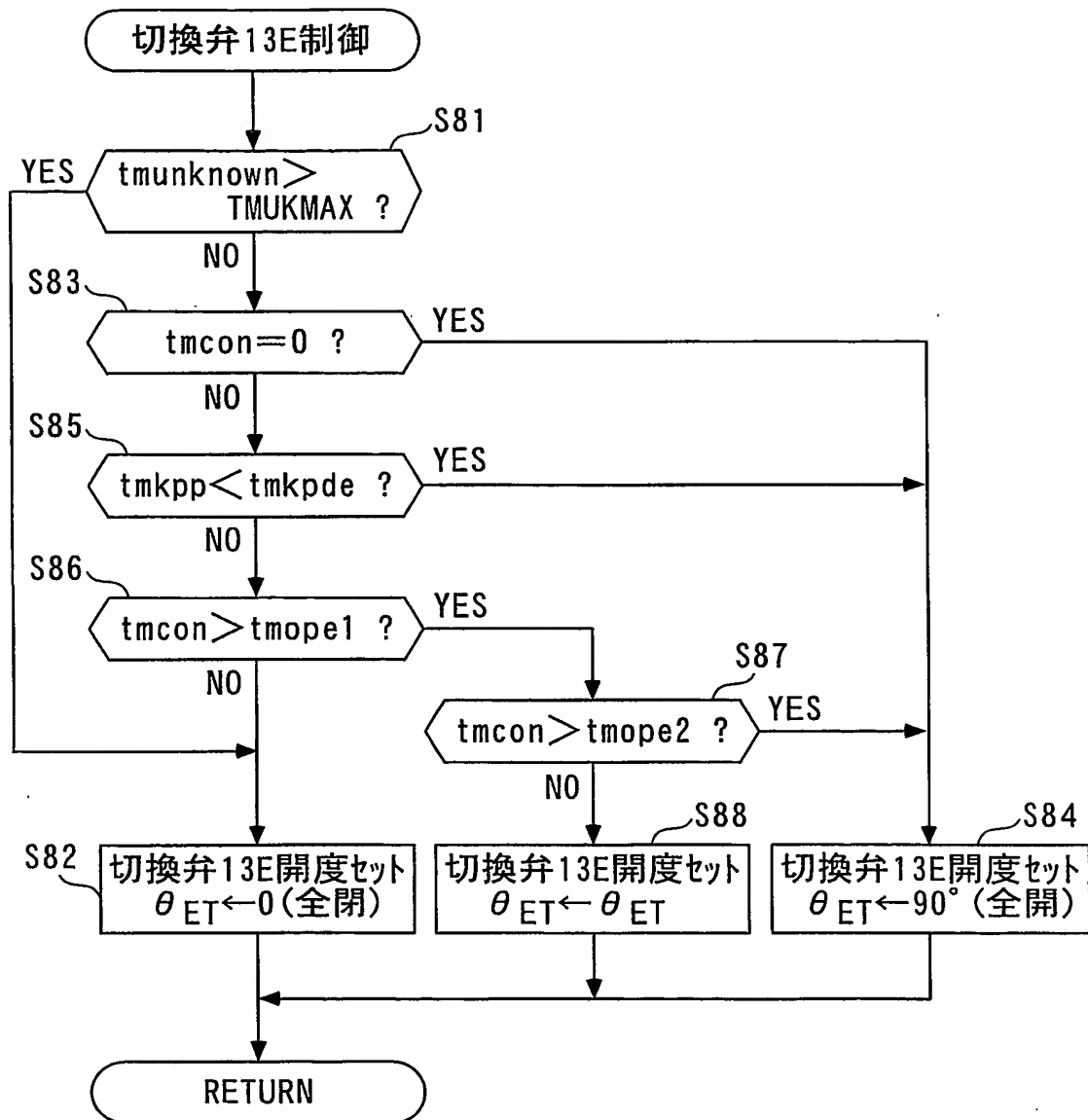
21 / 25

図 23



22 / 25

図 24



23 / 25

図 25 A

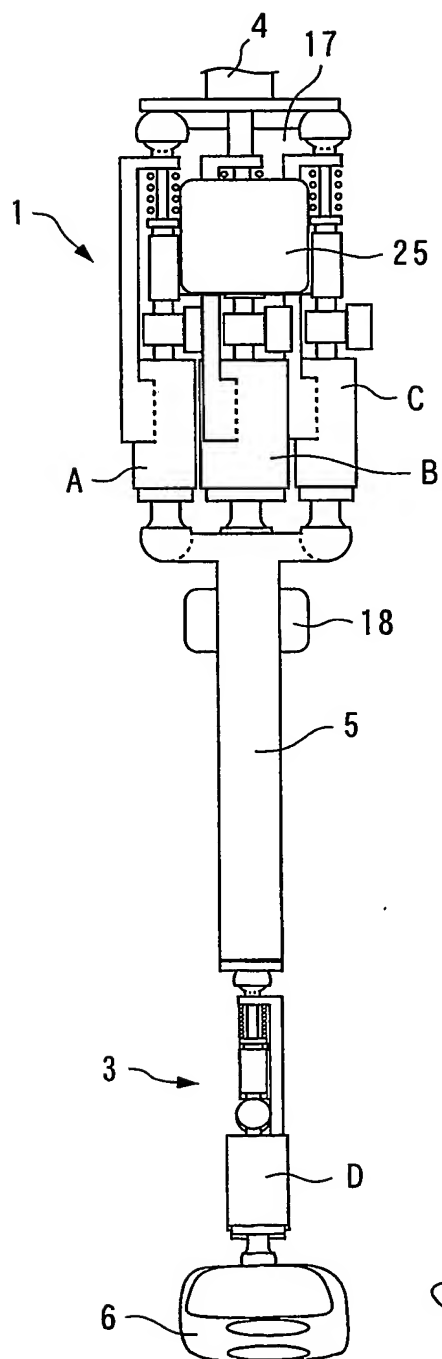
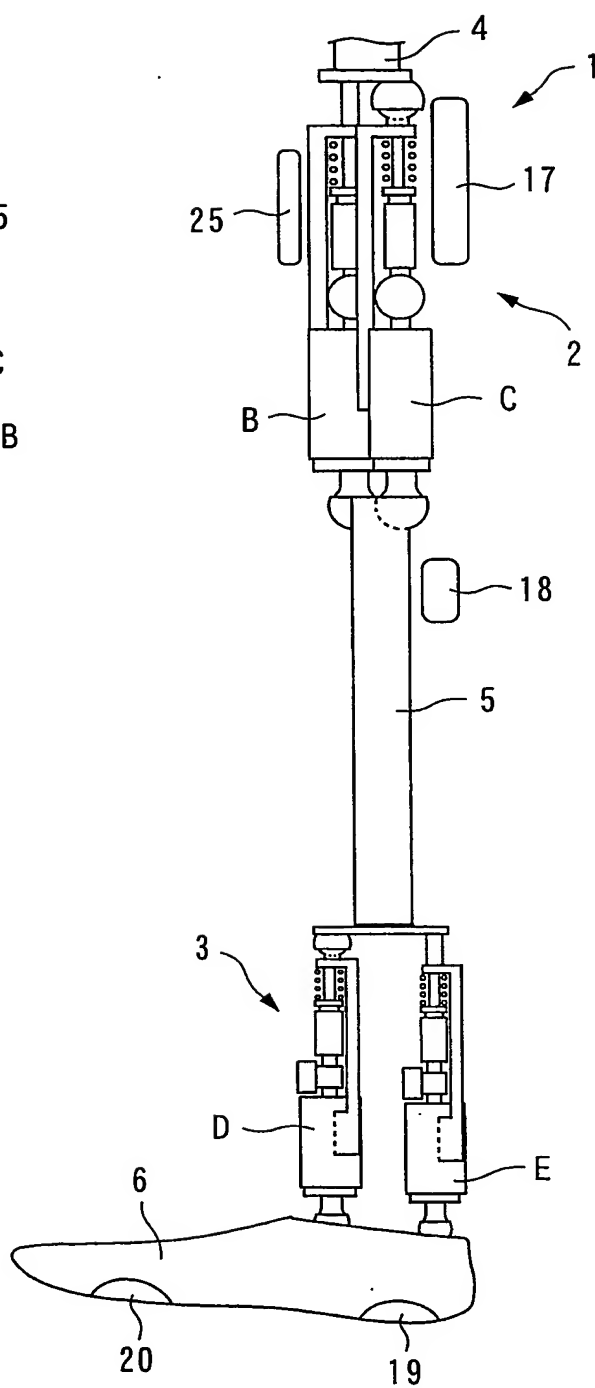


図 25 B



24 / 25

図 26 A

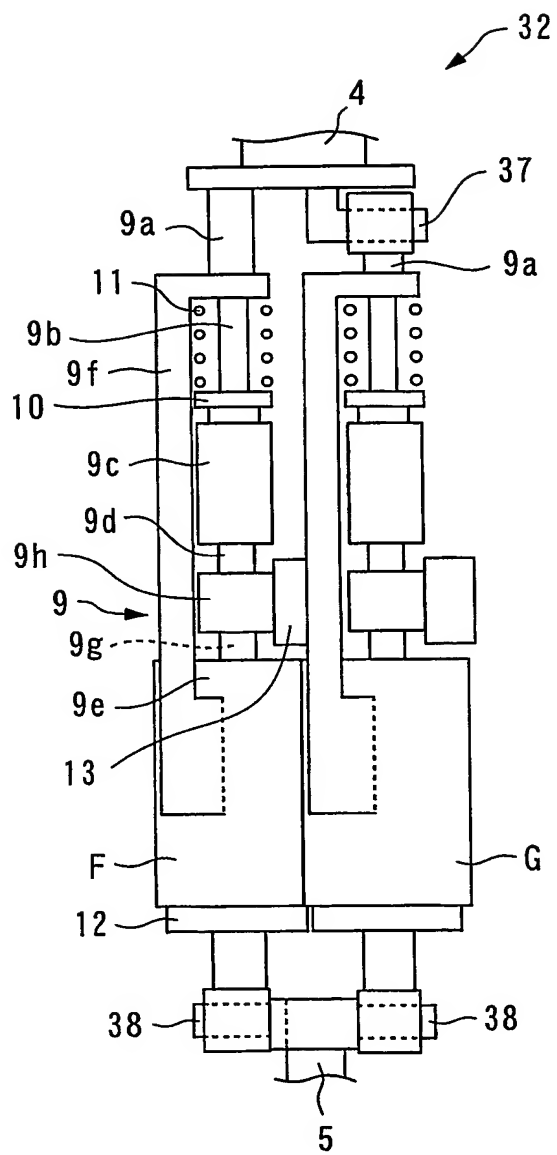
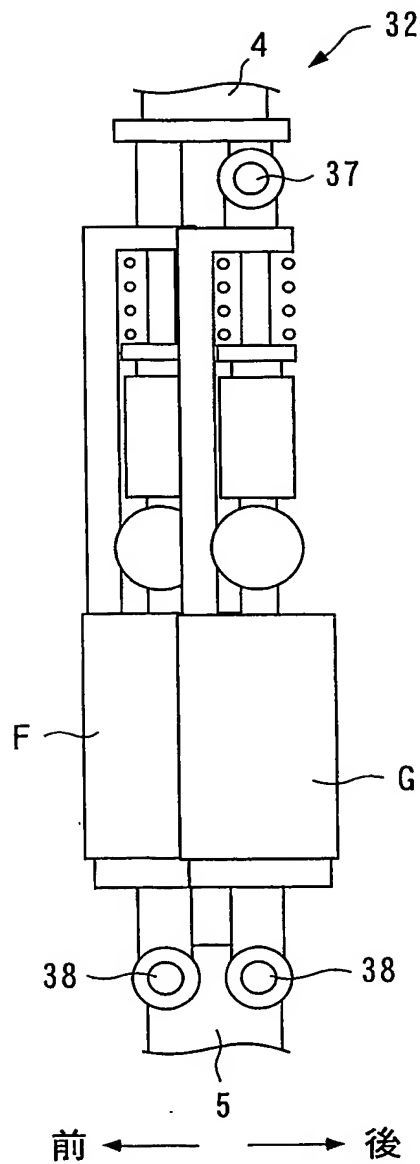


図 26 B



25 / 25

図 27

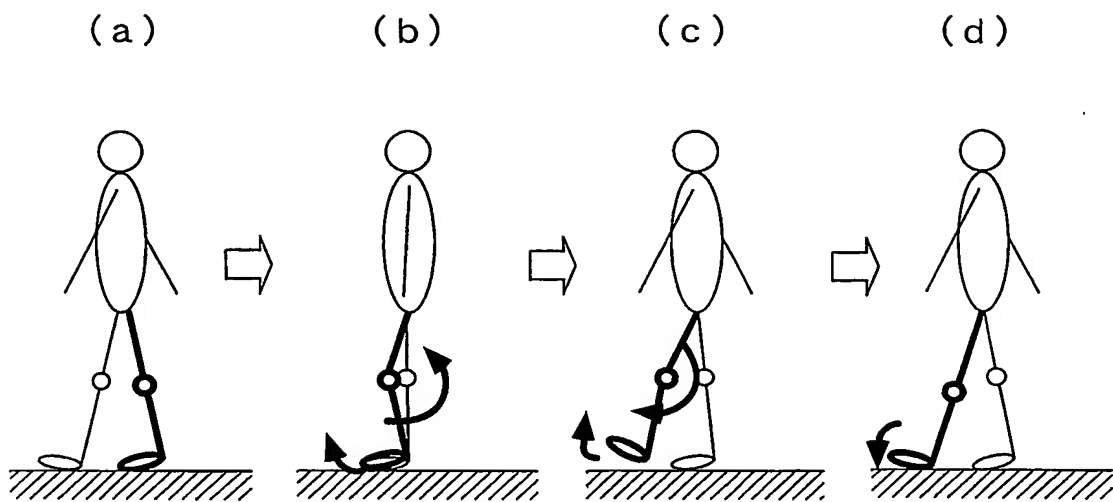
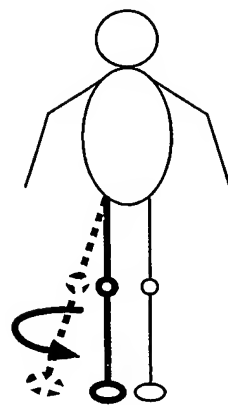


図 28



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10810

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ A61F2/74, 2/64, 2/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ A61F2/60-2/74

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1940-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-212070 A (Otto Bock Orthopädische Industrie Besitz- und Verwaltungs-Kommanditgesellschaft), 24 August, 1993 (24.08.93), Full text; all drawings & EP 549855 A2 & US 5383939 A & US 5571205 A	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34
Y	JP 11-19105 A (Yugen Kaisha Nagasaki Kanae Gishi Seisakusho), 26 January, 1999 (26.01.99), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 02 October 2003 (02.10.03)	Date of mailing of the international search report 21 October, 2003 (21.10.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10810

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-511611 A (Biedermann Motech GMBH.), 03 December, 1996 (03.12.96), Full text; all drawings & EP 700491 B1 & US 5728174 A & WO 95/27156 A1	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34
A	JP 59-189843 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 27 October, 1984 (27.10.84), Full text; all drawings (Family: none)	5, 17, 29
A	JP 2001-511052 A (Biedermann Motech GMBH.), 07 August, 2001 (07.08.01), Full text; all drawings & EP 957838 B1 & WO 99/29272 A1	9, 21, 33
Y.	JP 59-115037 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 03 July, 1984 (03.07.84), Full text; all drawings (Family: none)	12, 24, 36

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ A61F 2/74, 2/64, 2/66

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ A61F 2/60-2/74

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 5-212070 A (オットー・ボック・オルトペディッ シェ・インデュストリエ・ベジツツーウント・フェアバルトウंक スーコマンディットゲゼルシャフト) 1993.08.24, 全文, 全図 & EP 549855 A2 & US 5383939 A & US 5571205 A	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34
Y	JP 11-19105 A (有限会社長崎かなえ義肢製作所) 1999.01.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 02.10.03

国際調査報告の発送日 21.10.03

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
寺澤 忠司



3E 9623

電話番号 03-3581-1101 内線 3344

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 8-511611 A (ビーダーマン・モテーク・ゲゼル シャフト・ミット・ベシュレンクテル・ハフツング) 1996. 12. 03, 全文, 全図 & EP 700491 B1 & US 5728174 A & WO 95/27156 A1	1, 2, 8, 10-14, 20, 22-26, 32, 34
A	JP 59-189843 A (工業技術院長) 1984. 10. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	5, 17, 29
A	JP 2001-511052 A (ビーダーマン・モテーク・ゲ ゼルシャフト・ミット・ベシュレンクタ・ハフツング) 2001. 08. 07, 全文, 全図 & EP 957838 B1 & WO 99/29272 A1	9, 21, 33
Y	JP 59-115037 A (工業技術院長) 1984. 07. 03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	12, 24, 36